

Trägheits- und Tunnel-Fusion

Stand der Technik neben ITER (12/2012)

Inhalt:

Fusionsreaktionen: D-D, D-T, D-³He, p-¹¹B, Vorteile und Nachteile

aktueller Stand der Laser-Inertialfusion: NIF, OMEGA

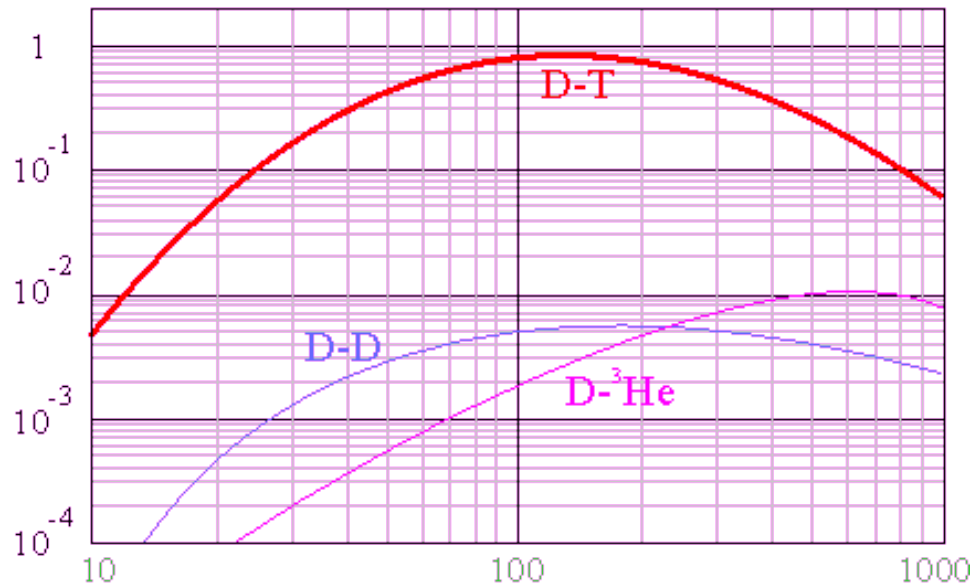
Andere Fusionsverfahren: Myon katalysierte Fusion, IECF, BEC-Fusion

Bose-Einstein-Kondensation (BEC): Winterberg, Kim und Bedaque

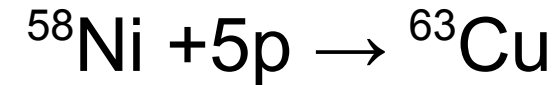
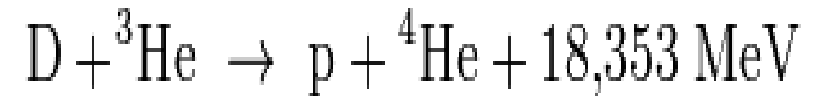
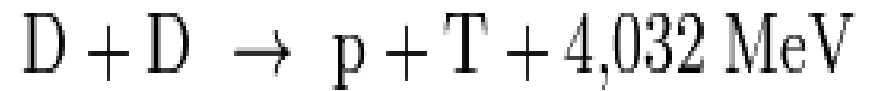
Holmlids Arbeiten: Fusion in Hochdichtem Deuterium (HDD)

Fusionsreaktionen

Wirkungsquerschnitt in relativen Einheiten



Plasmatemperatur in Millionen Grad



DD hat einfachen Ausgangsstoff aber Neutronenaktivierung und höhere Energieschwelle

D+T bringt 4-fache Energie gegenüber D+D, höchsten Wirkungsquerschnitt, knappe Ausgangsstoffe (T,Li) +n

D+D hat größte Rohstoffbasis, aber geringe Energieausbeute

D+³He hat nur geladene Reaktionsprodukte, aber noch seltenere Ausgangsstoffe als DT

¹¹B+p hat sehr hohe Energieschwelle, gute Rohstoffbasis und ist fast neutronenfrei

Neutronenausbeute → Aktivierung → B+p am wenigsten „radioaktiv“

D ist Boson → Bose-Einstein-Kondensation (BEC) ist möglich

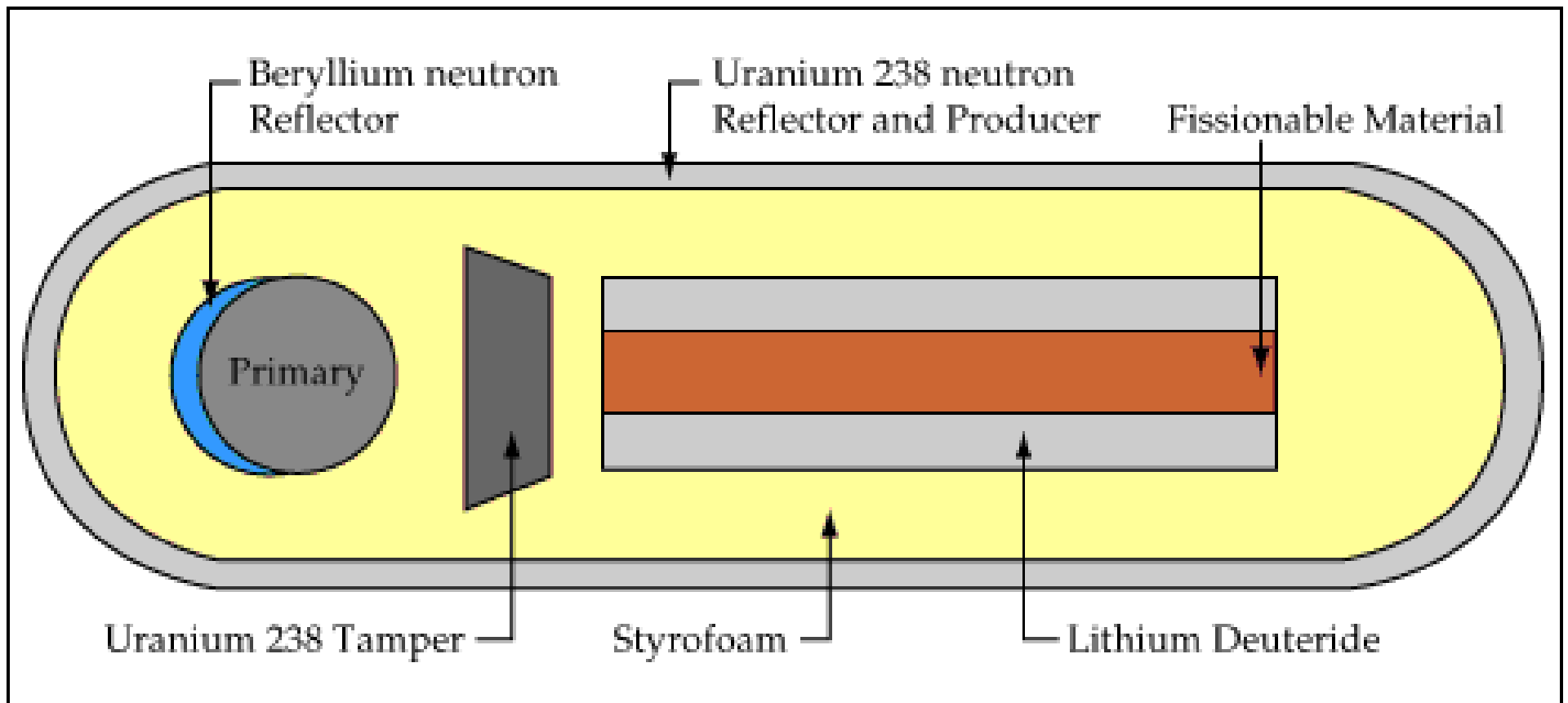
Brennstoffe, Temperaturen, Dichten und Einschlußzeiten für Fusionsreaktoren

Brennstoff	T	ρ	t-Einschluß	EROIE
Protonen in Sonne	10^7K ,	$(10^{23}/\text{cm}^3)$	4,5 Mia. J.	$\gg 10$
LiD in H-Bombe,	10^7K ,	$10^{22}/\text{cm}^3$,	$\sim ?$ ns	$\gg 10$
ITER-Plasma,	10^7K ,	$10^{14}/\text{cm}^3$,	~ 1000 s	$> 1 ?$
ICF mit D_2 (flüssig)	22K ,	$10^{22}/\text{cm}^3$,	3 ns (NIF)	< 1
μ -Fusion,	22K ,	$10^{22}/\text{cm}^3$,	(200ps)	$< 0,4$
PdD/BECNF	$\sim 300\text{K}$,	$10^{22}/\text{cm}^3$,	\sim h	$> 1 ?$
D(-1) (Holmlid),	$\sim 500\text{K}$,	$10^{29}/\text{cm}^3$,	(~ 5 ns)	?
Lawson-Kriterium :	$n_e \tau_E > (12kT) \backslash (v\sigma)\epsilon$			
Für DD:	10^{14} sec/m ³	für DT: 5×10^{12} sec/m ³		

Prinzip der Trägheitsfusion nach Teller-Ulam

Nachteil: die notwendige Zündenergie ist für normal dichtes LiD nur mit einer Uranbombe erreichbar

- Energiefreisetzung technisch nicht beherrschbar
- Brennstoffdichte muß erhöht werden
- und die Zündenergie muß verkleinert werden



Trägheitsfusion mit Lasern in der National Ignition Facility (NIF)



Innenansicht der Fusionskammer der National Ignition Facility (NIF)

www.crisisfronts.org/.../10/NIF_Interior.jpg



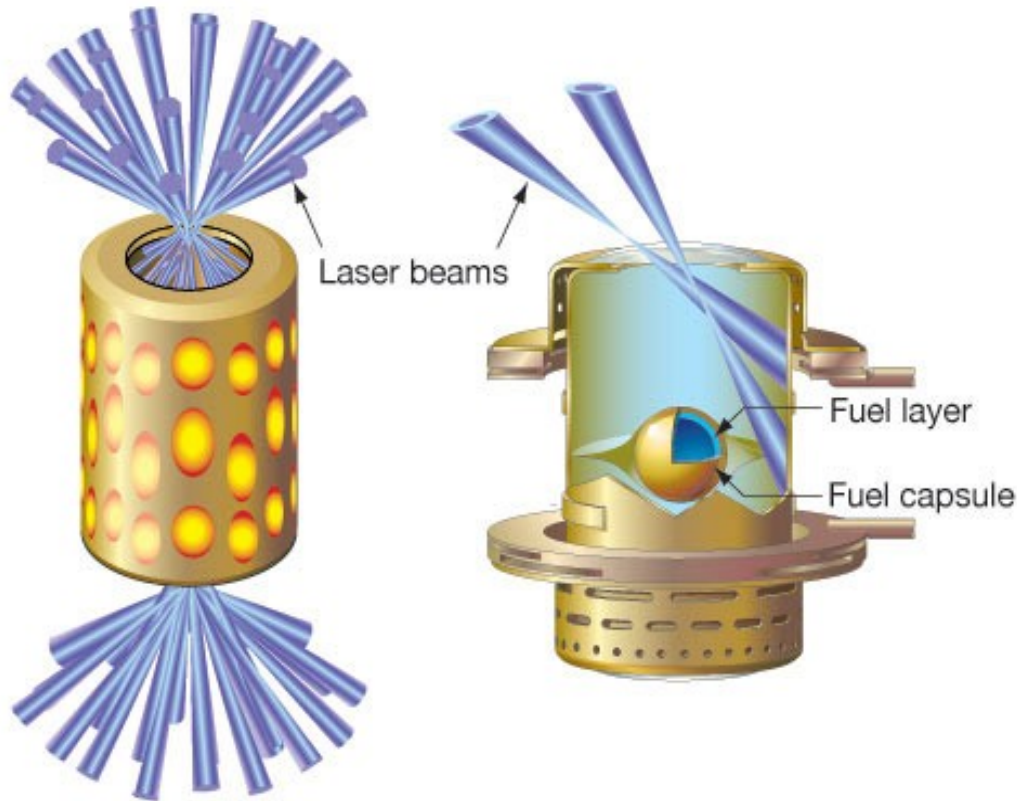
192 Nd-YAG-Laser (18,75 kJ pro Strahl) heizen in einem Goldzylinder eine feste 2 mm DT-Kugel auf.

Zündenergie $\sim 3,6$ MJ = 1 kWh ~ 800 g TNT

6 Pulse pro Tag

Bild aus: thefutureofthings.com/.../ignition-process.jpg

2 Brennstoffgeometrien für die Trägheitsfusion

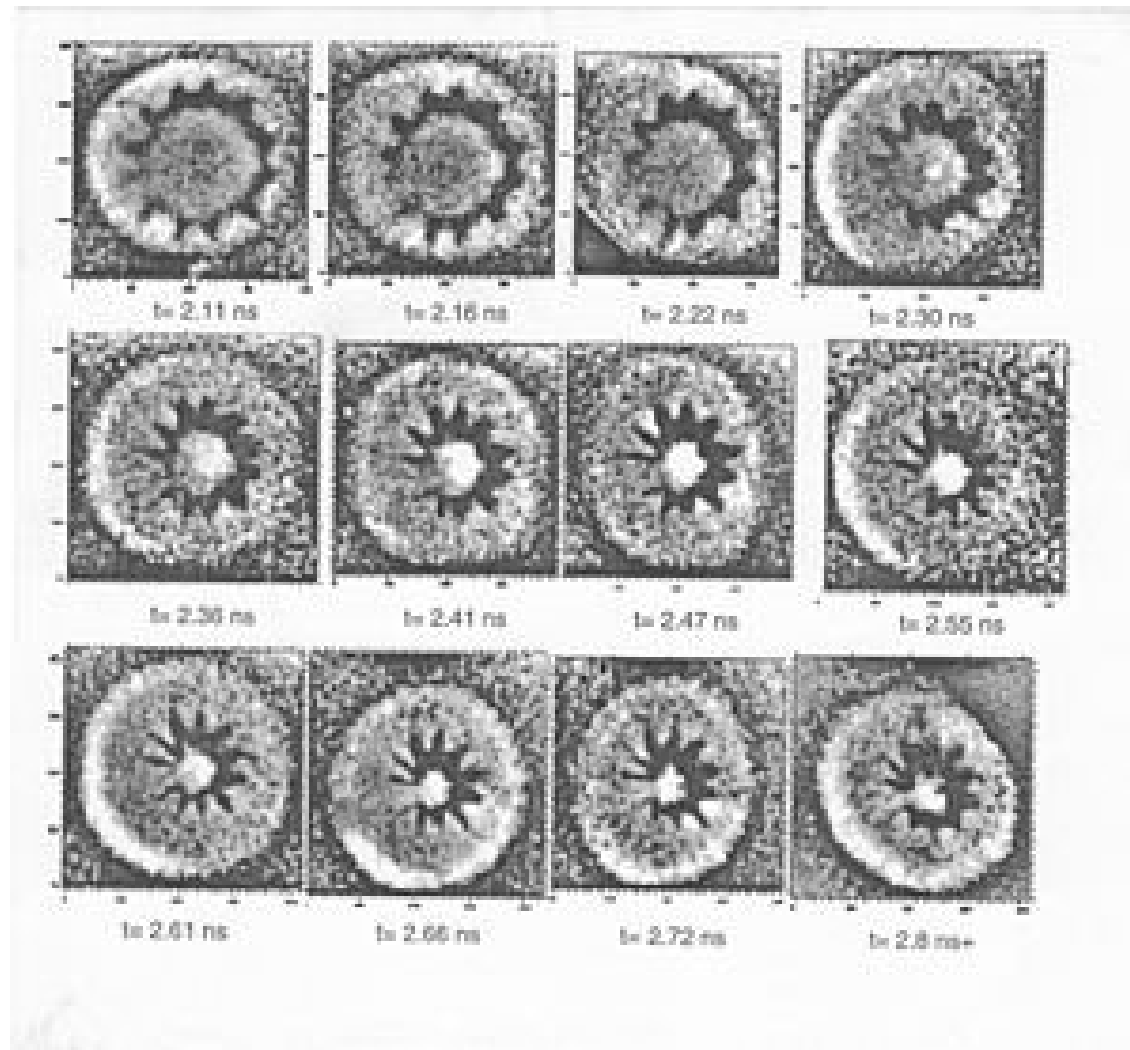


Indirekte Heizung:
D-T-Kugel (2mm) wird von
Röntgenstrahlen in einem
Goldzylinder komprimiert
(Bomben-Geometrie)



direkte Heizung:
Kohlenstoff-Hohlkugel mit
Innenbelag aus D-T wird
komprimiert und gezündet

Probleme der Kompression und direkten Zündung



Implosionsbilder mit
NOVA-Laser 1995
Die
Raileigh-Instabilität
Verhindert
symmetrische
Kompression

Fusionsarbeiten am OMEGA-Lasersystem

(60 Nd-YAG-Laser, U Rochester)

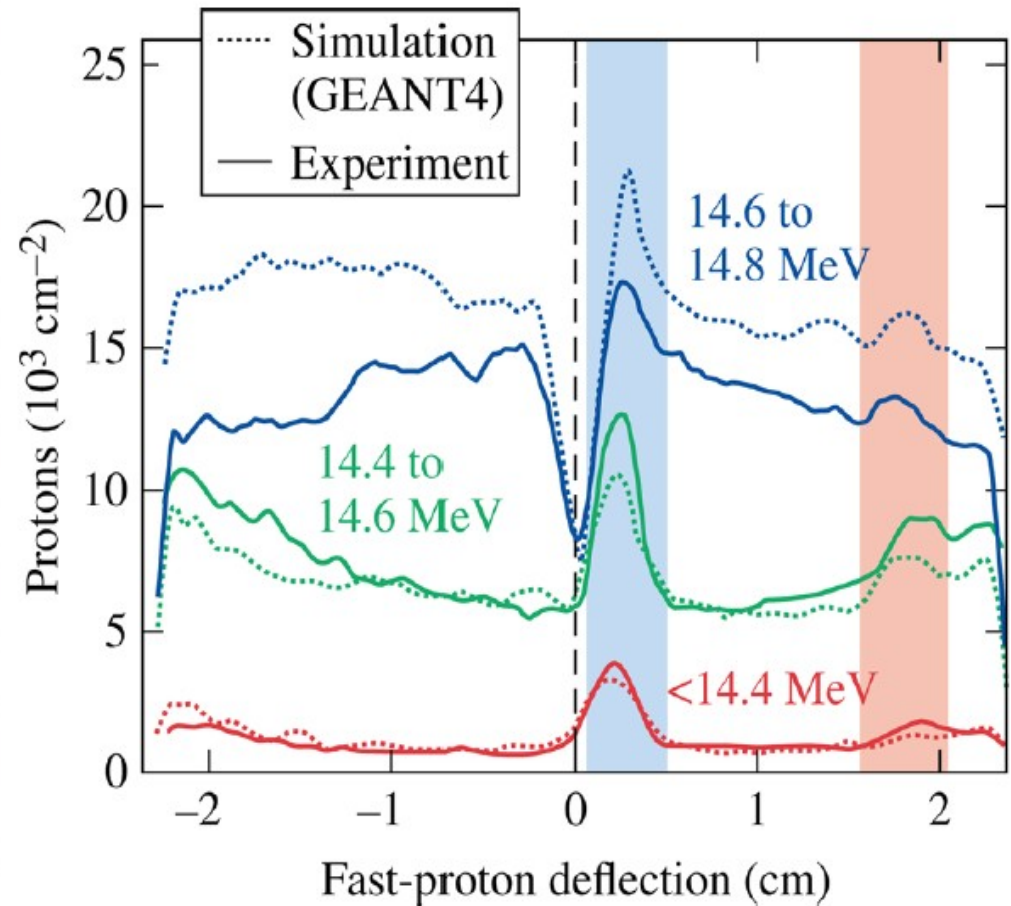
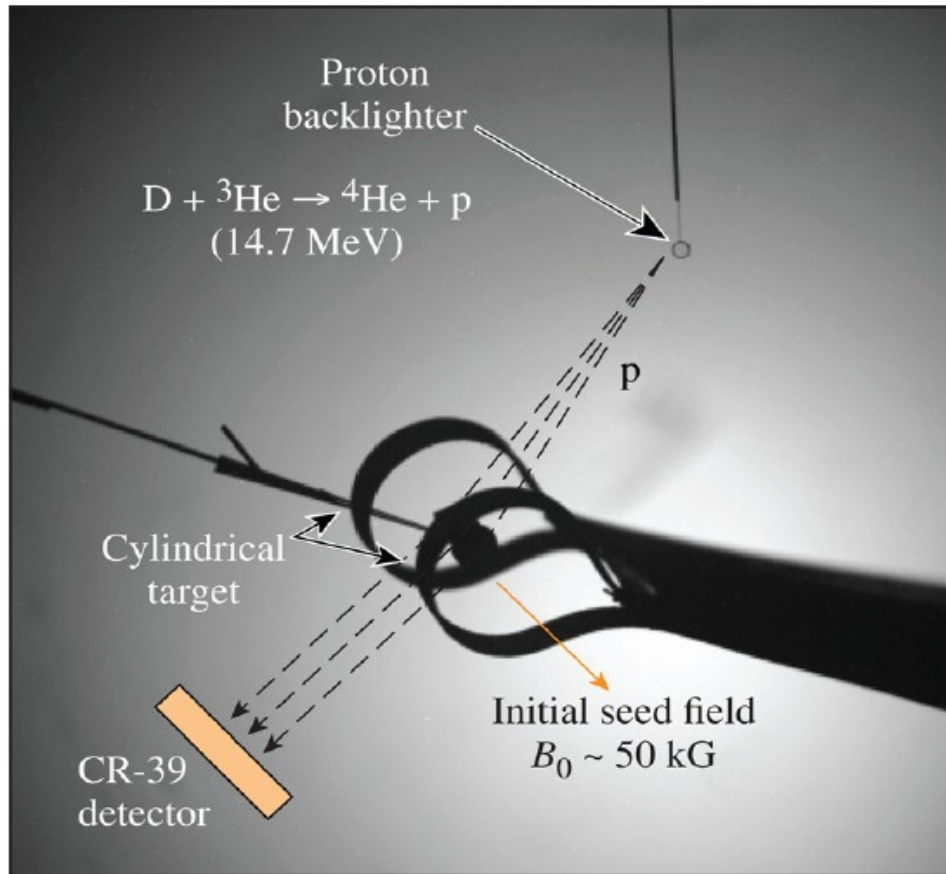


FIG. 3. Photograph of a cylindrical target surrounded by magnetic-field coils, generating an $\sim 50 \text{ kG}$ seed field. The field is probed using protons generated in the fusion reactions from a laser-heated $D^3\text{He}$ target. The protons are deflected off their initial trajectories in the compressed magnetic field and are detected using a CR-39 track detector.

Proton Spektrometrie mit verschiedenen Targets

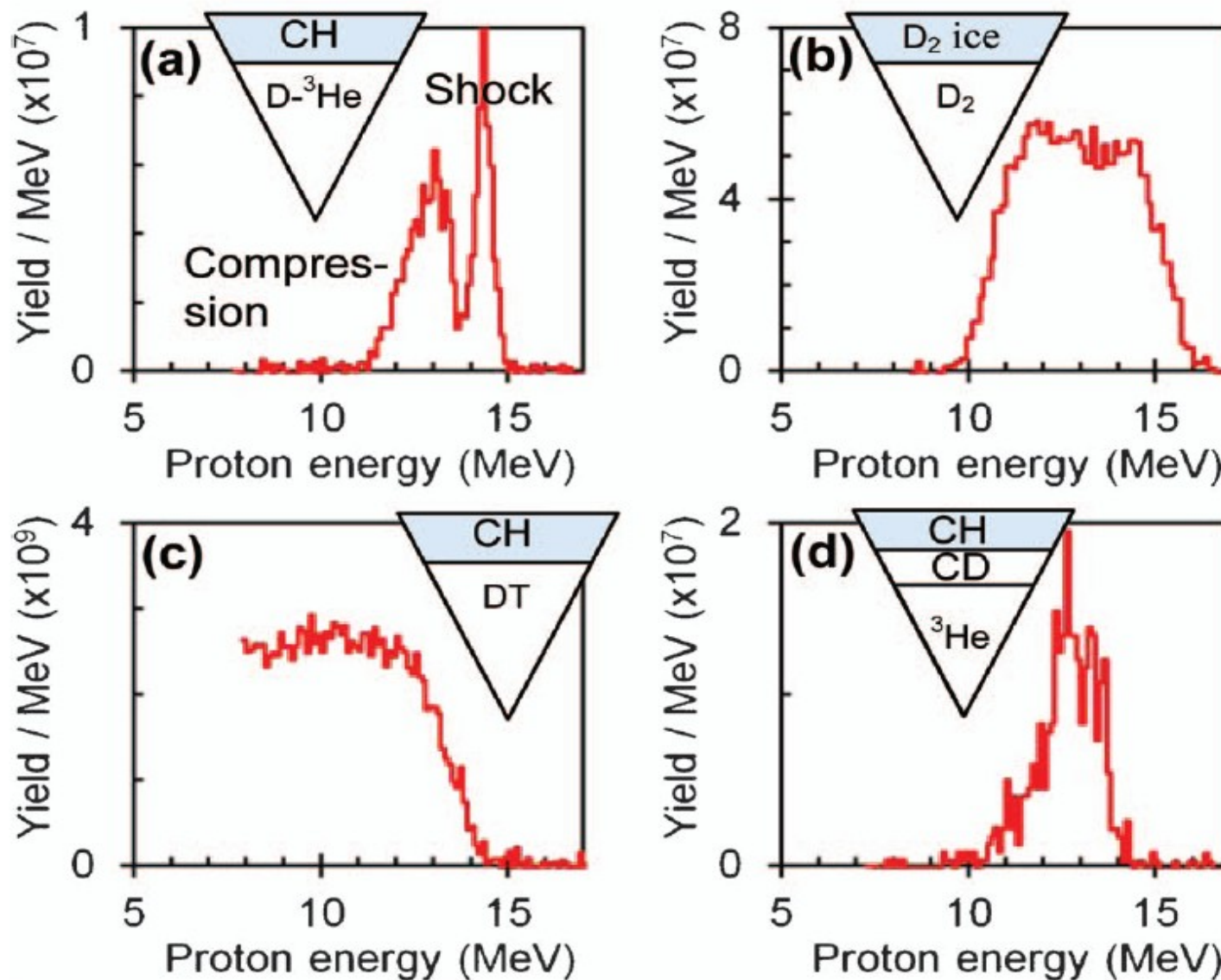
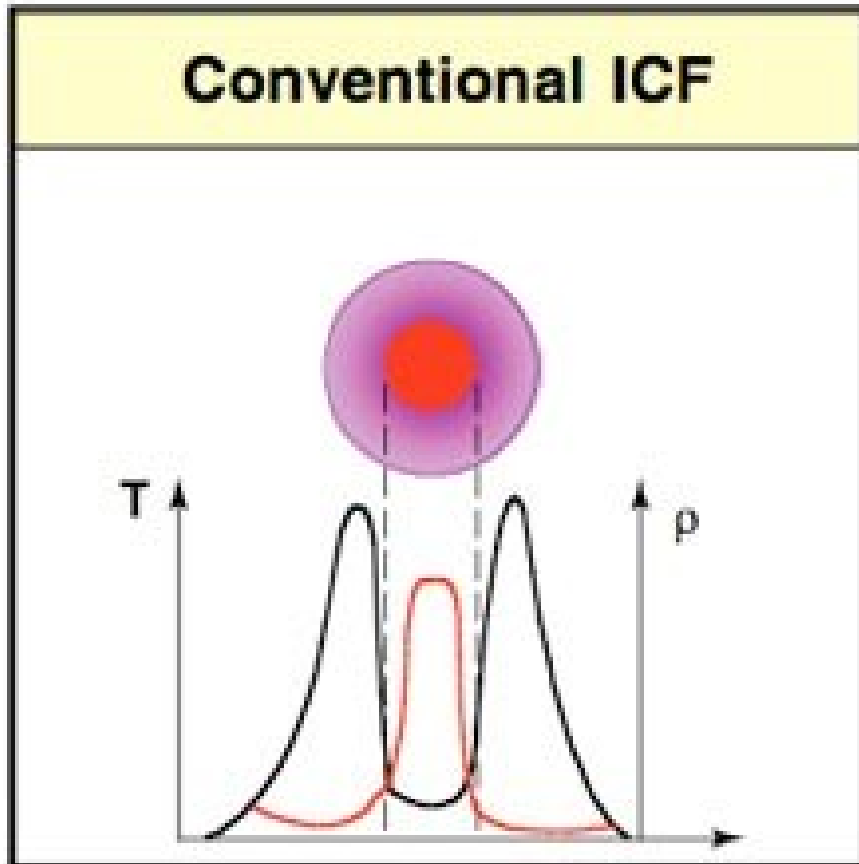
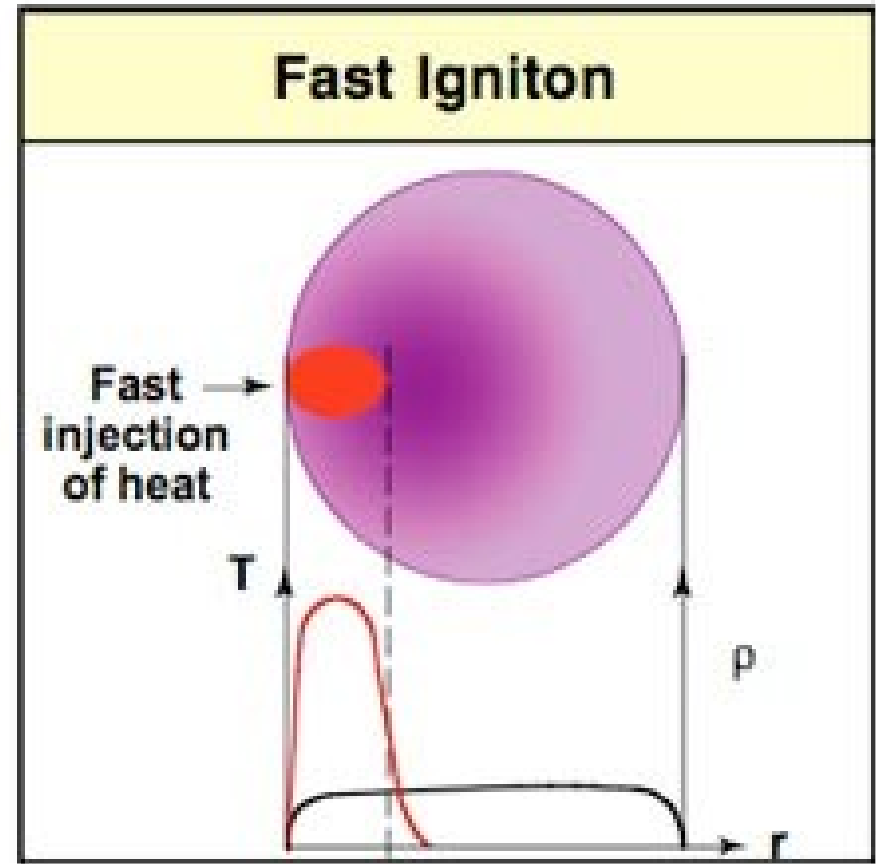


FIG. 2. WRF proton spectra from four types of implosions on OMEGA, with shell and gas fill compositions shown. Shot numbers are: 25 688, 28 900, 23 445, and 22 063 (a)–(d).

Schnelle Zündung



Einstufig:
Ein Laser muß
komprimieren+zünden
Brennstoff wird inhomogen
Zündung ist nicht optimal



zweistufig:
Erster Laser komprimiert,
ein 2ter Laser zündet,
Tritium ist nur im Zündbereich
notwendig

Schnelle Zündung von Deuterium mit DT-Trigger

nach Atzeni/Meyer-ter-Vehn

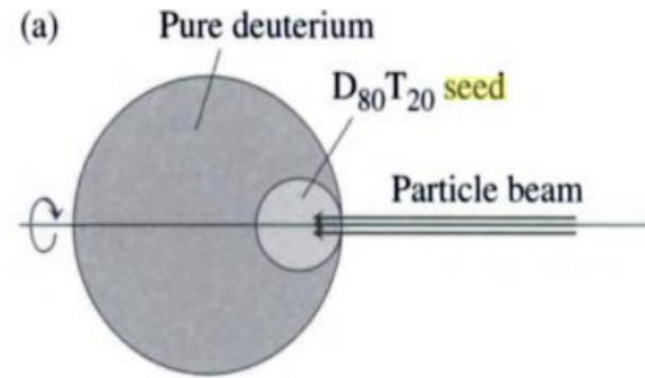
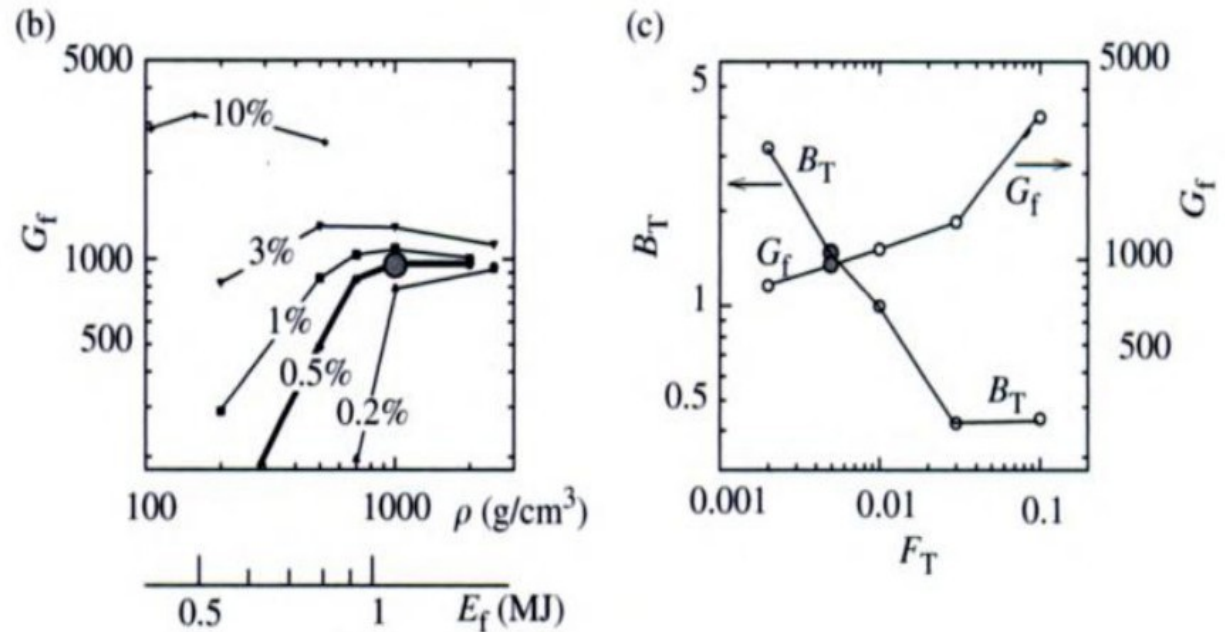


Fig. 12.5 Burn of a compressed deuterium fuel, with a DT seed, fast ignited by a particle beam. (a) Simulated spherical configuration of pure deuterium at a homogeneous density of 1000 g/cm^3 with a seed consisting of 20% tritium and 80% deuterium for fast ignition by a particle beam. (b) Fuel gain versus fuel density for different values of the fractional tritium content F_T . (c) Fuel gain and tritium breeding ratio versus tritium fractional content F_T for configurations with initial density $\rho = 1000 \text{ g/cm}^3$. The filled circles refer to $F_T = 0.5\%$. In all cases $M_f = 20 \text{ mg}$ and $\alpha = 1.5$. (Atzeni and Ciampi 1997).



Energiegewinn G_f schon hoch bei niedrigem T-Gehalt

Bei 1000 g/cm^2 Ausgangsdichte reichen schon 0,2% T-Gehalt

Zündbedingungen für die Trägheitsfusion

von fast ignition targets nach Atzeni/Meyer-ter-Vehn, Seite 415

Einschluß-Parameter: ρR_f [g/cm²]

Verbrennungsgrad: $\rho R_f / H_B$

Brennparameter: $H_B = 7$ g/cm²

Energiegewinn (fuel gain): G_f berechnet nach Atzeni/Ciampi (1997)

Tritium-Brutfaktor: B_t berechnet nach Atzeni/Ciampi (1997)

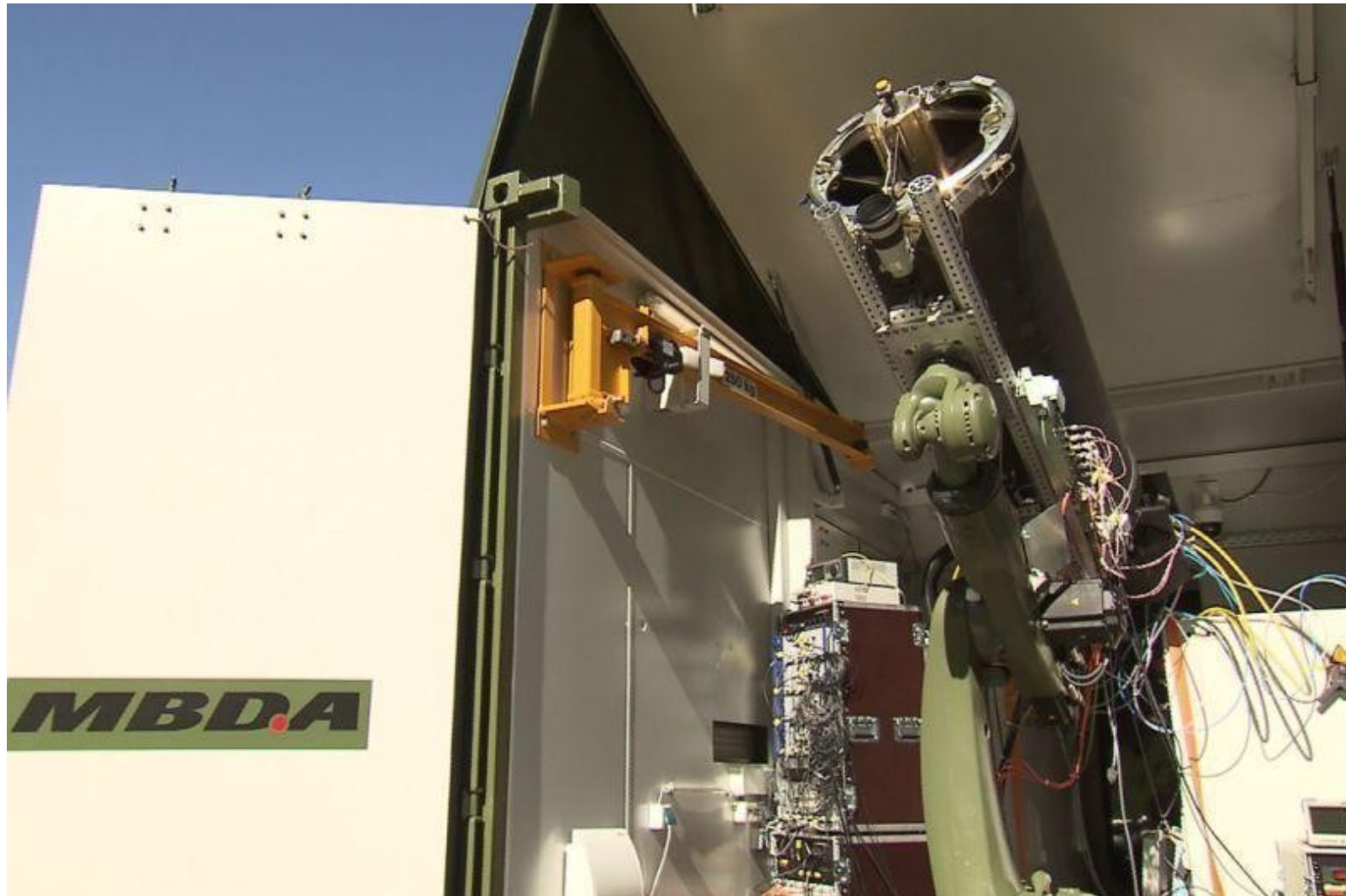
Zündenergie: $E_{ign} = 720000 / \rho^2$ [kJ] ρ in g/cm³

$\rho \sim 0,1 \rightarrow E_{ign} \sim 72$ GJ (Pu-Zünder in H-Bombe)

$\rho \sim 100 \rightarrow E_{ign} \sim 72$ kJ (NIF und OMEGA-Laser)

$\rho \sim 100000 \rightarrow E_{ign} \sim 0,072$ J (Nd-YAG-Faserlaser)

40 kWatt Laser zur Geschößabwehr mit geometrisch gekoppelten Faserlasern



Energetische Abschätzungen für einen Fusionsmotor im KFZ

Annahmen: $E_{\text{fusion}}/E_{\text{Zünd}} \sim 1000$, $P_{\text{Nutz}} = 10 \text{ kW}$, $f = 100 \text{ Pulse/s}$, $\eta \sim 0,3$

$E_{\text{fusion}} = 30 \text{ kW} \rightarrow E_{\text{zünd}} = 30 \text{ J/s}$ oder $0,3 \text{ J pro Puls}$

D-T-Brennstoffmenge pro Puls: $\sim 10^{-12} \text{ Gramm pro Puls}$

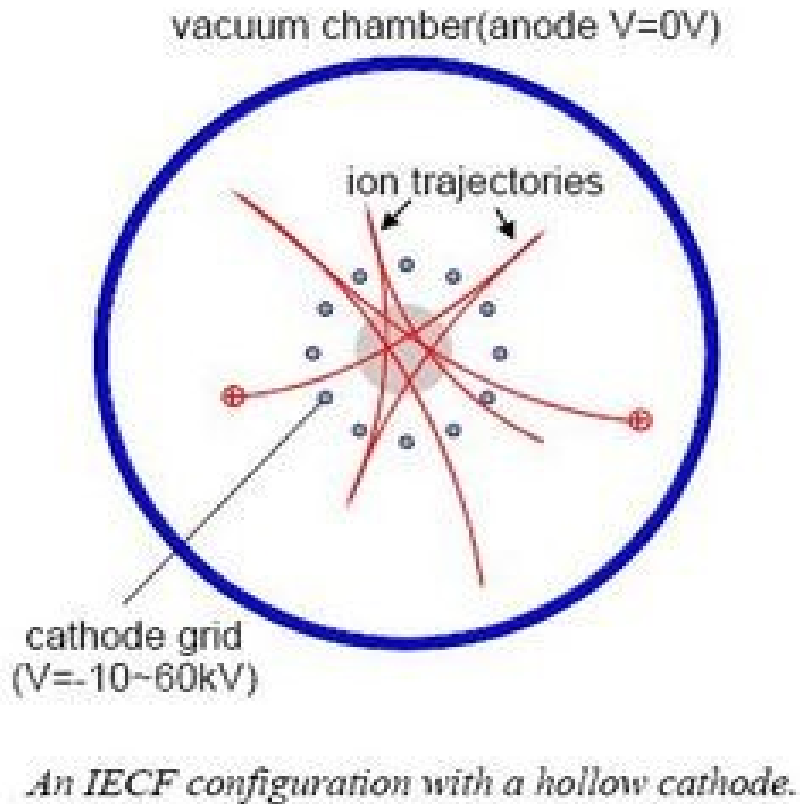
- 30 Watt-Nd-YAG-Laser mit $0,3 \text{ J/Puls}$ sind Stand der Technik

Brennparameter für DT: 7 g/cm^2 und Dichte $\sim 1000 \text{ g/cm}^3$

\rightarrow Kugelradius $\sim 7 \mu\text{m}$

- Offene Fragen: Herstellung und Verdichtung von $70 \mu\text{m}$ DD-Kugeln mit Einbettung einer DT-Zündpille
Verdichtung auf mehr als 1000 g/cm^2

Elektrostatische Trägheitsfusion (IECF)



Robert Hirsch Reported High Neutron Production Rates in the First Ion IEC Device in 1968 at ITT-Farnsworth in Fort Wayne, IN
Geheimen Project der US Navy bis 2005?
Sehr informative DIY-Seite fusor.net mit Forum

Vorteil von IEC-Fusion

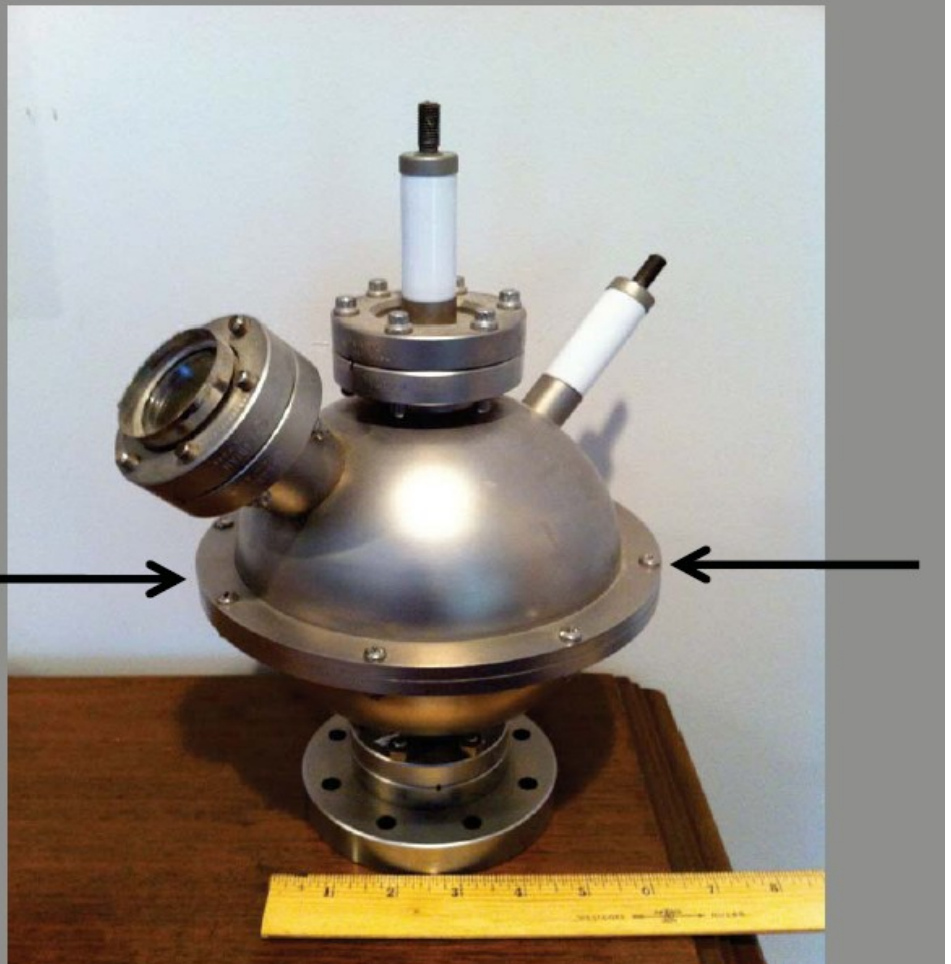
Nicht-Maxwell-Verteilung der Ionenenergien

→ gut geeignet für p-B11, das ~ 150 keV braucht.

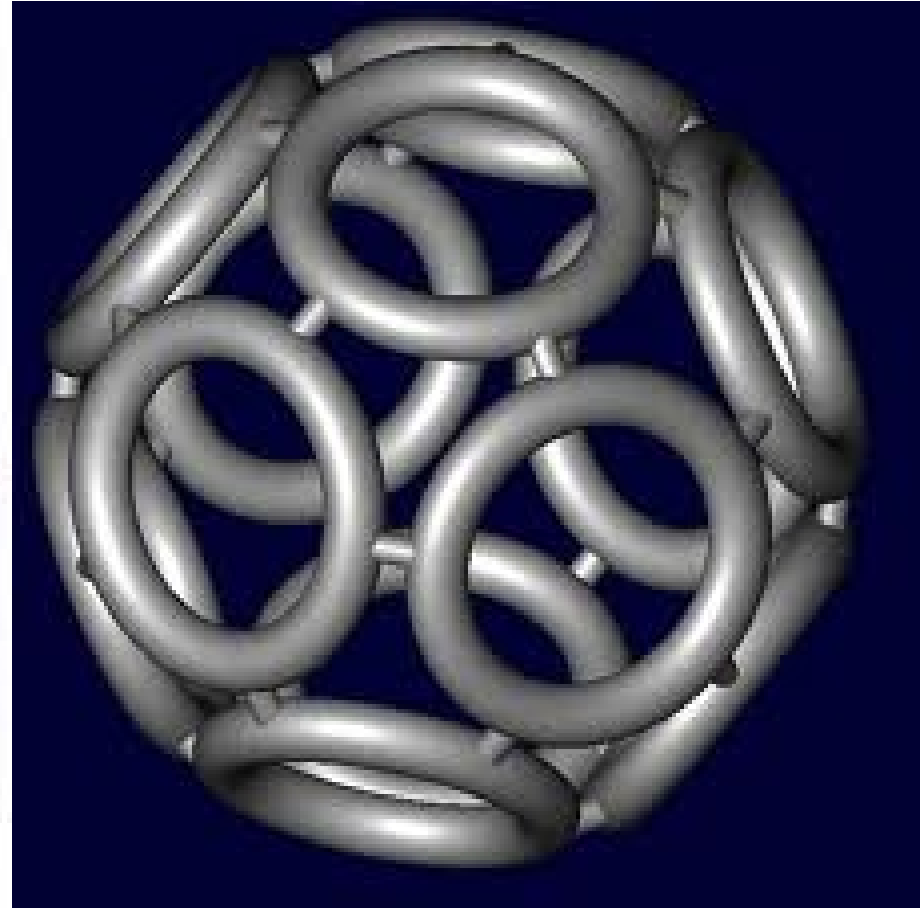
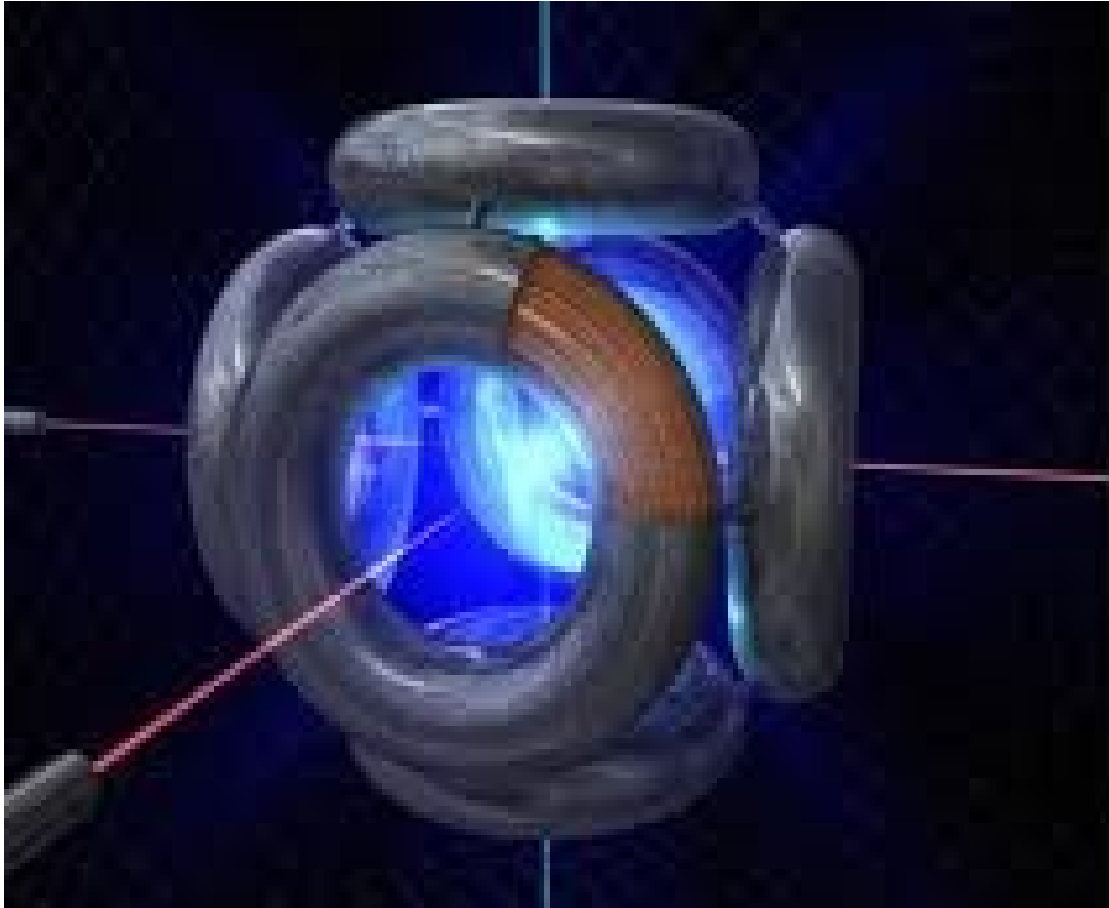
Weniger Bremsstrahlungs-Verluste weil nur Ionenenergien mit hohem Fusionsquerschnitt verwendet werden.



20 cm



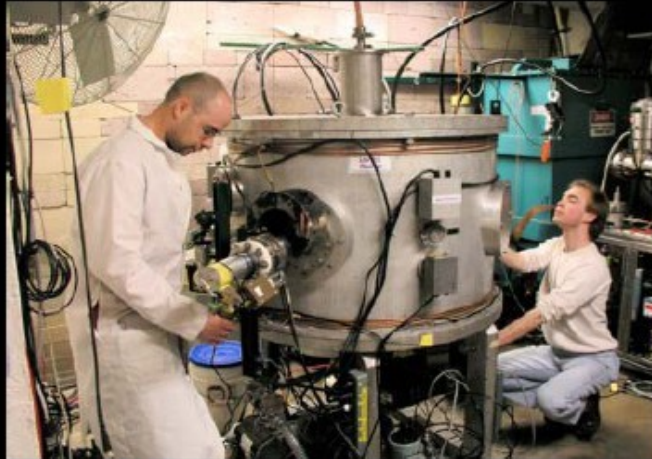
IECF mit polygonalen Magnetspulen



Ersatz der Gitter durch magnetische Solenoide mit der Geometrie der 5 platonischen Körper, hier: Kubus und Dodekaeder

4 IEC-Fusionsexperimente an der U Wisconsin

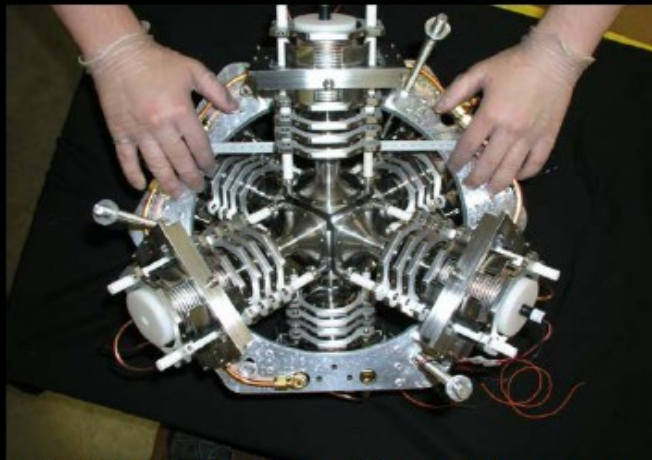
There are Currently Four Different IEC Chambers in Operation at the University of Wisconsin



HOMER-Gridded Device



HELIOS-Ion Injected Gridded Device

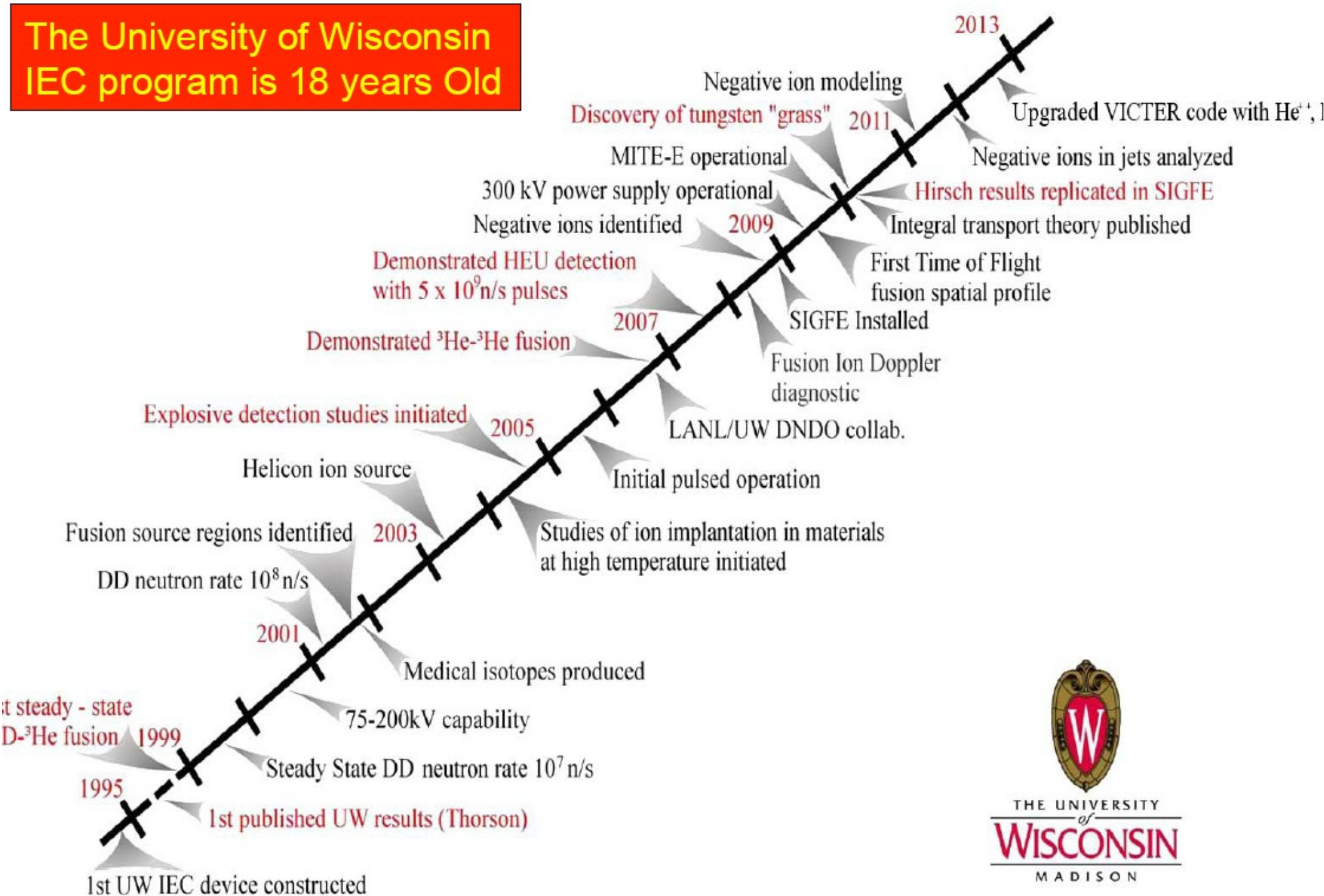


SIGFE-6 Ion Gun Device



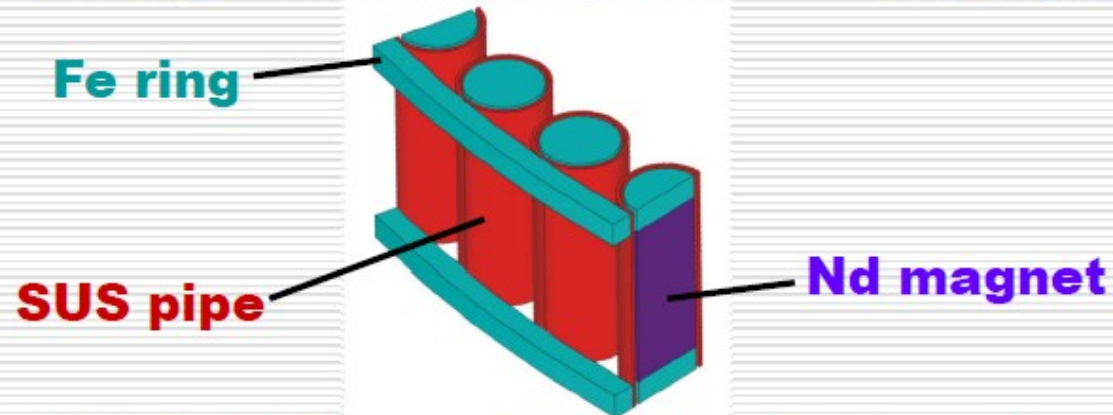
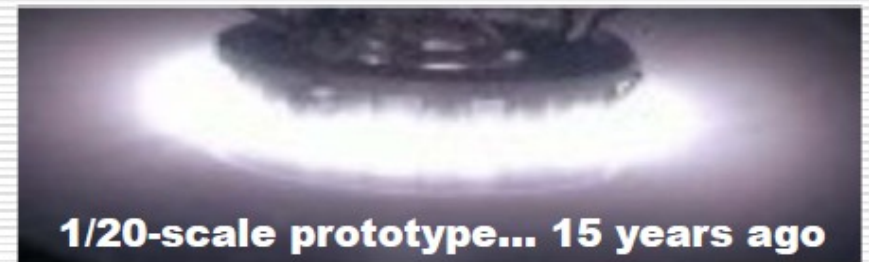
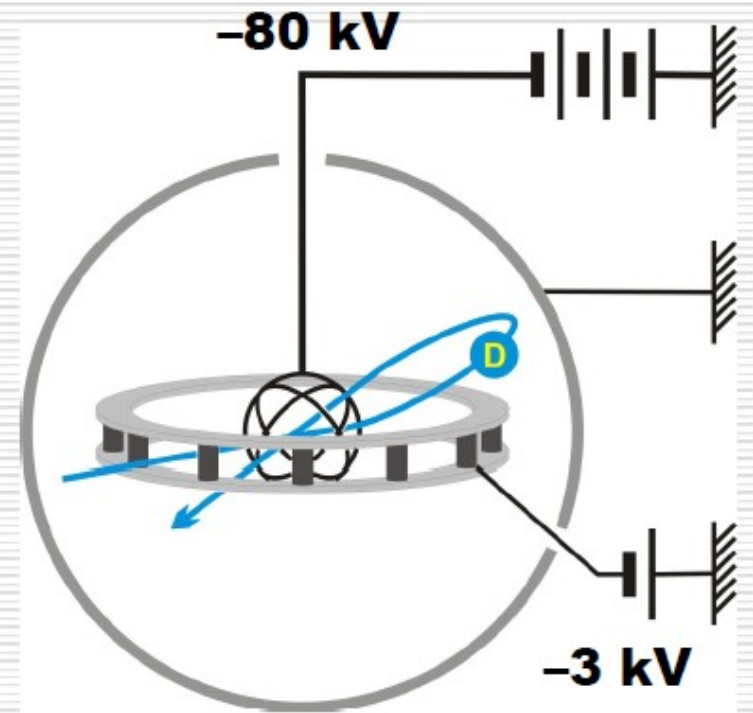
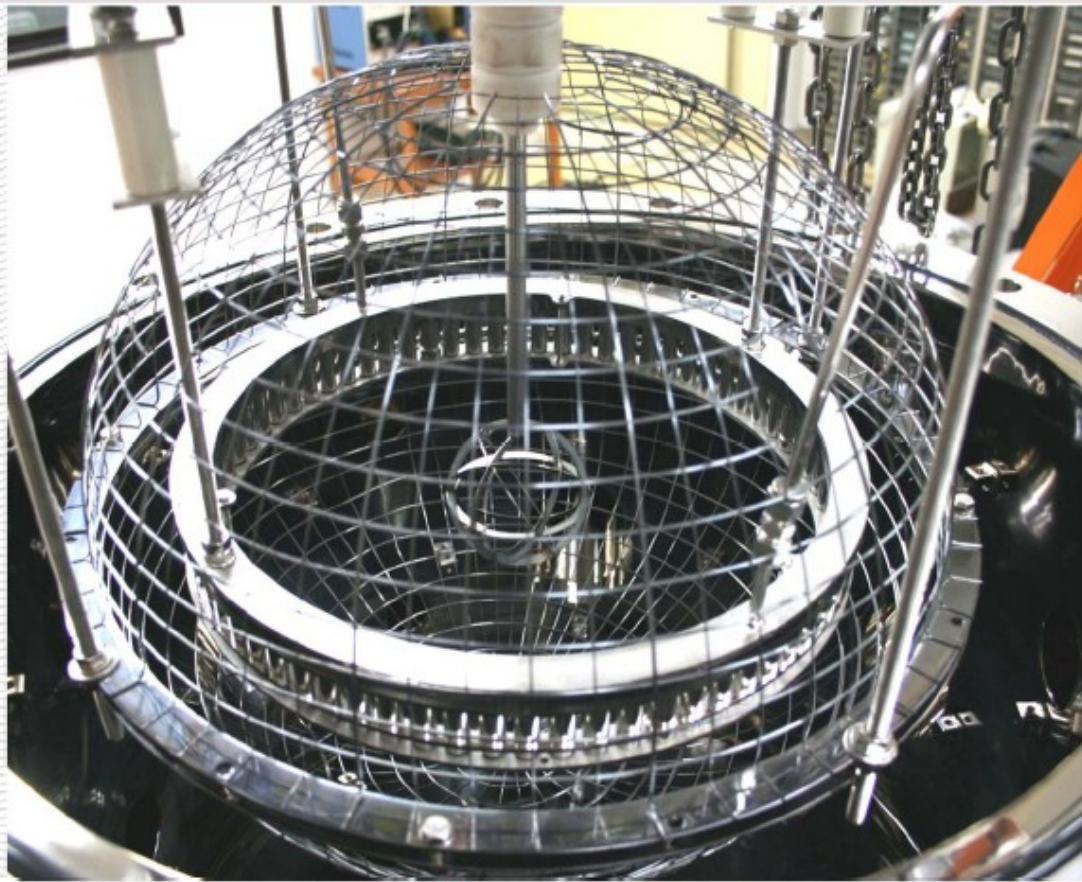
MITE-E Ion Gun Device

The University of Wisconsin IEC program is 18 years Old

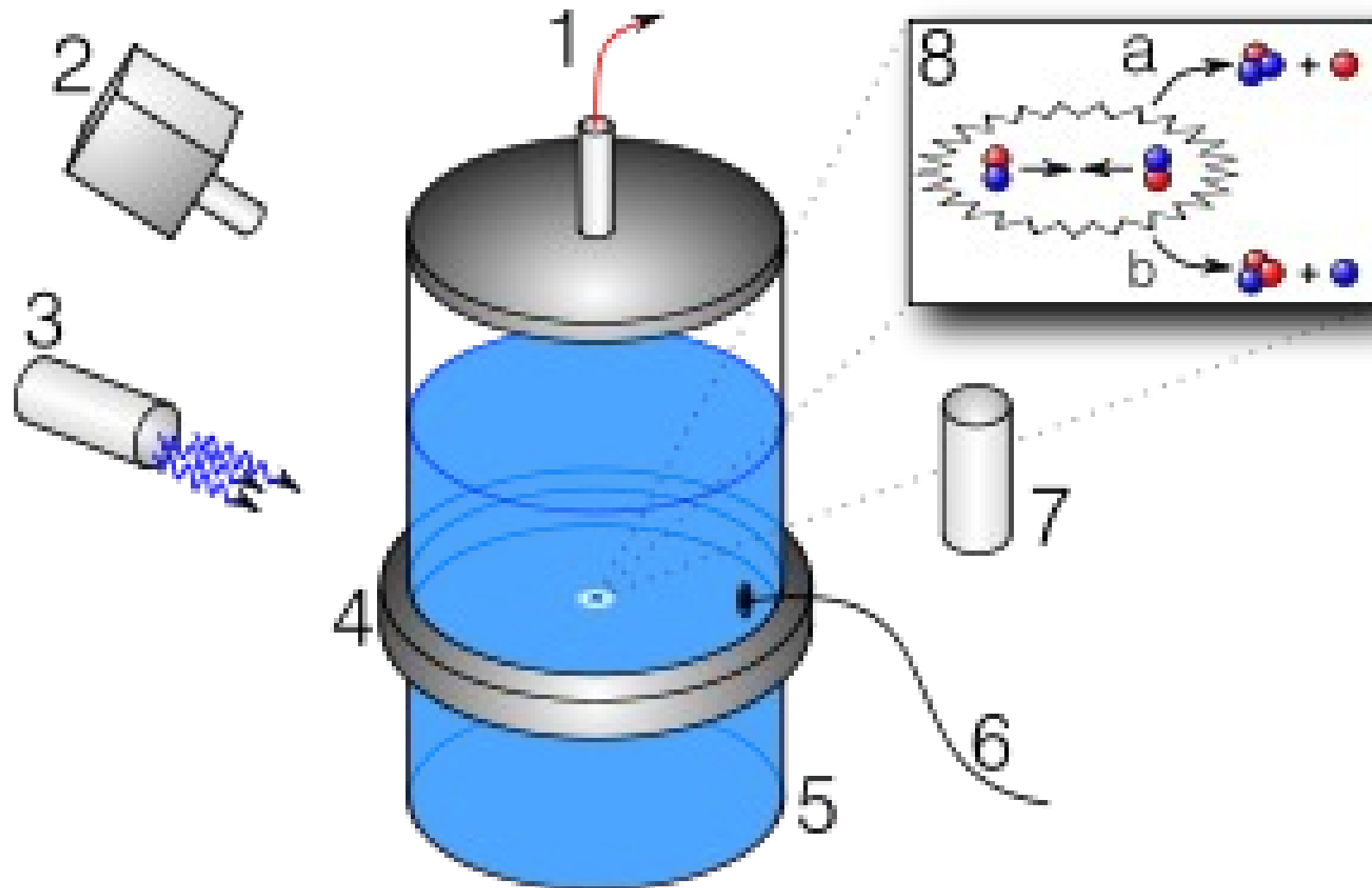


THE UNIVERSITY
of
WISCONSIN
MADISON

IEC driven by Ring-shaped-Ion-Source



Bläschen-Fusion in Deuterium-Aceton



Sonofusion device used by Rusi Taleyarkhan. 1. Vacuum pump 2. Liquid scintillator 3. Neutron source 4. Acoustic wave generator 5. Test chamber with fluid 6. Microphone 7. Photomultiplier tube 8. Two deuterium atoms collide 8a. Possible fusion event creating Helium and a neutron 8b. Possible fusion event creating Tritium and a proton

Kinetische ↔ Tunnel-Fusion

Kinetische Fusion: Kerne haben Energie $>$ Gamowwall \rightarrow Beschleuniger, Magnetfusion, Sterne, H-Bombe, NIF, IECF

Tunnelfusion: Kerne mit weniger als Gamowenergie fusionieren durch Tunneln \rightarrow Myon-Fusion, PdD (Kalte Fusion)

- Reaktionsraten werden durch
- Quanten-Elektrodynamik
- berechnet

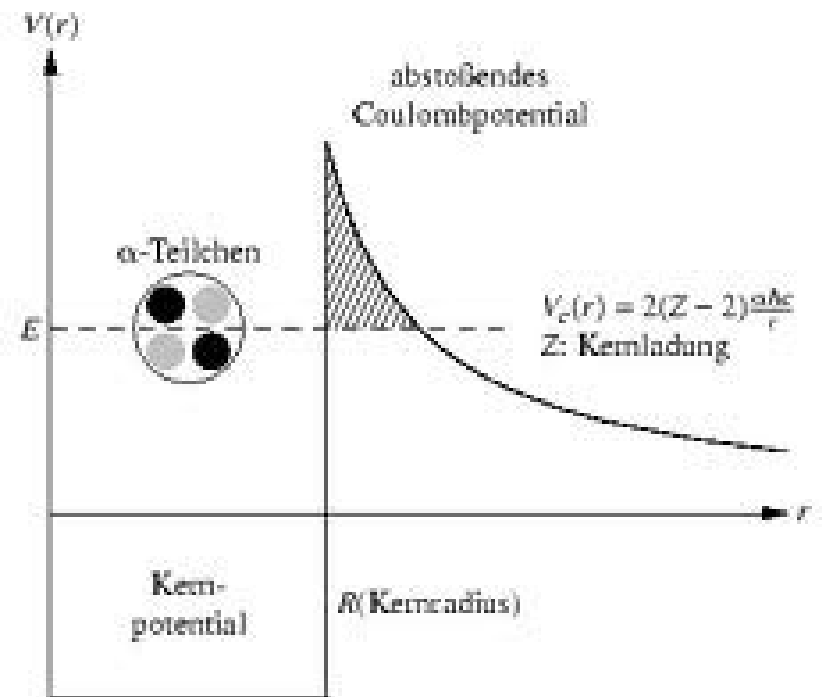
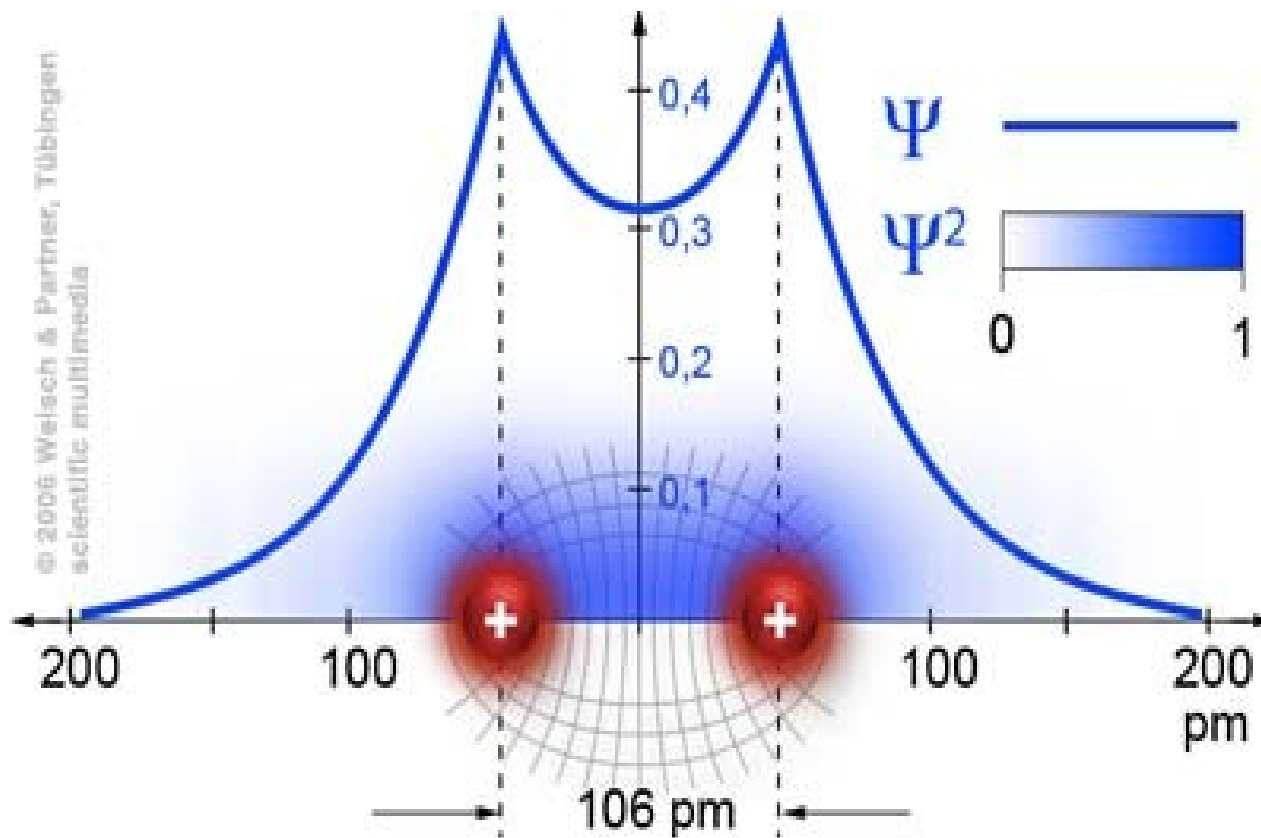


Abb. 12.6: abstoßendes Coulombpotential, $V_{\text{Coul}} = 2(Z-2)(e^2/r)$

Myonische Fusion ist **Tunnelfusion**



http://welsch.com/index.php5?chap=5_2&gid=587&lastsearch=&dis=18

Elektronendichte Ψ^2 im Coulomb-Potential eines H_2 bzw. D_2 -Molekül,
Radien von p, d: 0,84184 fm, 2.1402 fm, Bohrscher Radius: 53 pm = 53000 fm
mit μ (Masse = $207 \times m_E$) schrumpft der **Kernabstand von 106 pm auf ~640 fm**.
Damit ist **D+D-Fusion** per **Tunneleffekt** möglich!

Ein Myon „lebt“ 2,2 μs und katalysiert im Mittel >100 Fusionen.

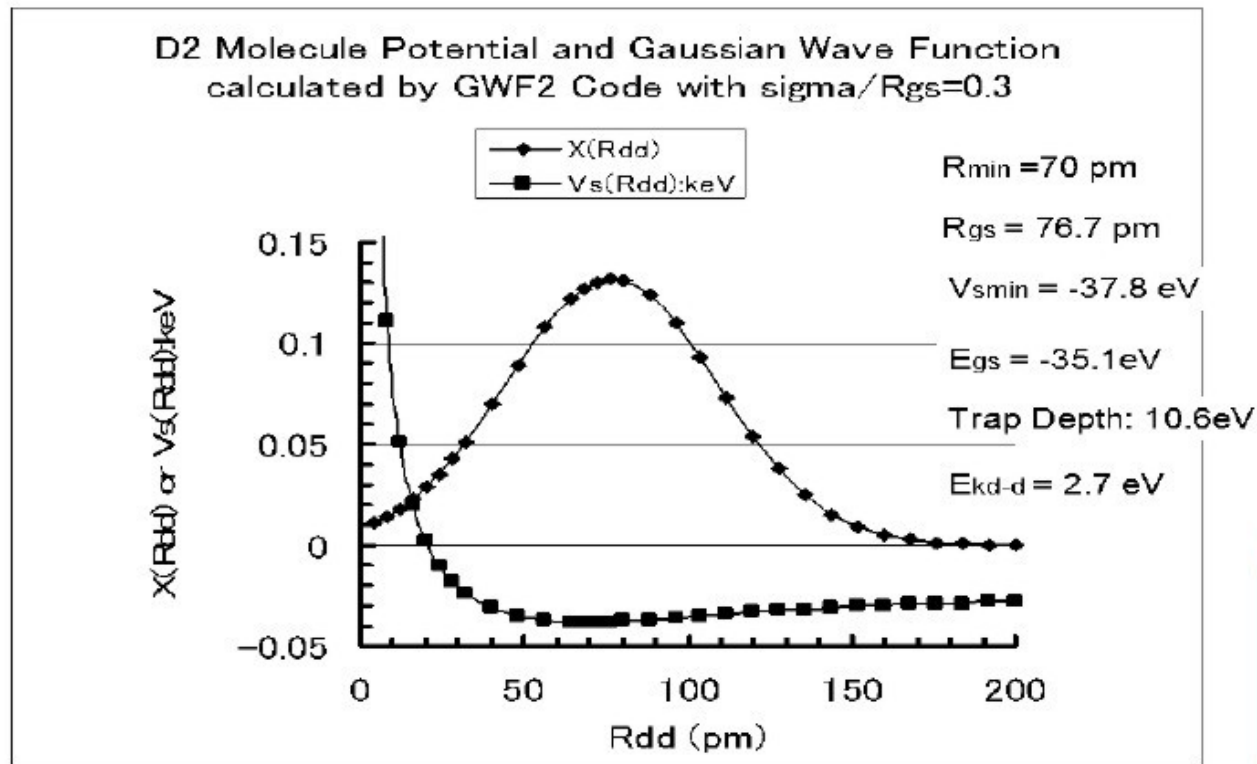
Myonen werden von der kosmischen Strahlung in der Lufthülle erzeugt.

W. H. Breunlich: Myon Catalyzed Fusion, *Nuclear Physics A* Bd. 508 (1990) S. 3-15

The Case of D₂ Molecule:

The relative kinetic energy of d-d pair: **2.7eV**

3.2x10⁴ K



Impossible
to
detect

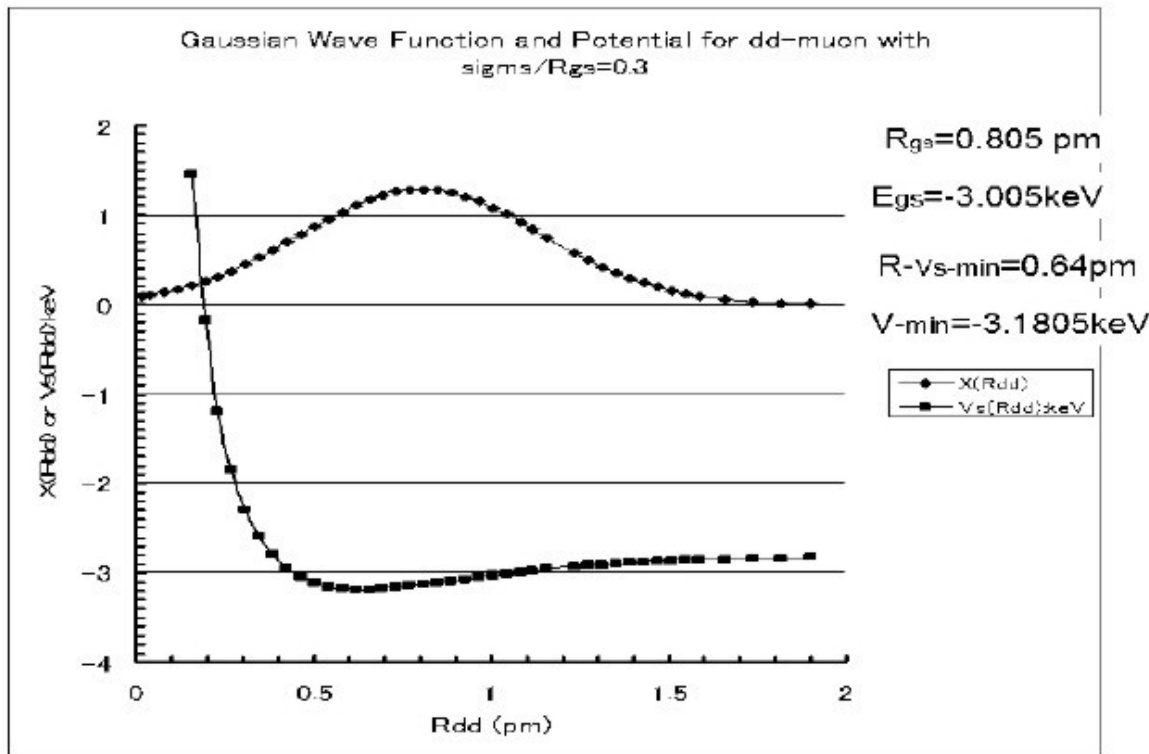
$$\lambda_{nd} = \frac{2}{\hbar} \langle W \rangle P_{nd}(r_0) = 3.04 \times 10^{21} P_{nd}(r_0) \langle W \rangle$$

$$\langle \text{Fusion Rate per Molecule} \rangle = 2.4 \times 10^{-66} \text{ f/s}$$

The Case of Muonic d-d Molecule: The relative kinetic energy of d-d pair: 180eV

2.16x10⁶ K

Gaussian Wave Function and Vs Potential for dd-muon



DD fusion
Finishes
In 200 ps

$$\lambda_{nd} = \frac{2}{\hbar} \langle W \rangle P_{nd}(r_0) = 3.04 \times 10^{21} P_{nd}(r_0) \langle W \rangle$$

$$\langle \text{Fusion Rate per Molecule} \rangle = 2.4 \times 10^{10} \text{ f/s}$$

Probleme der Myon-Fusion

Alpha-Verluste

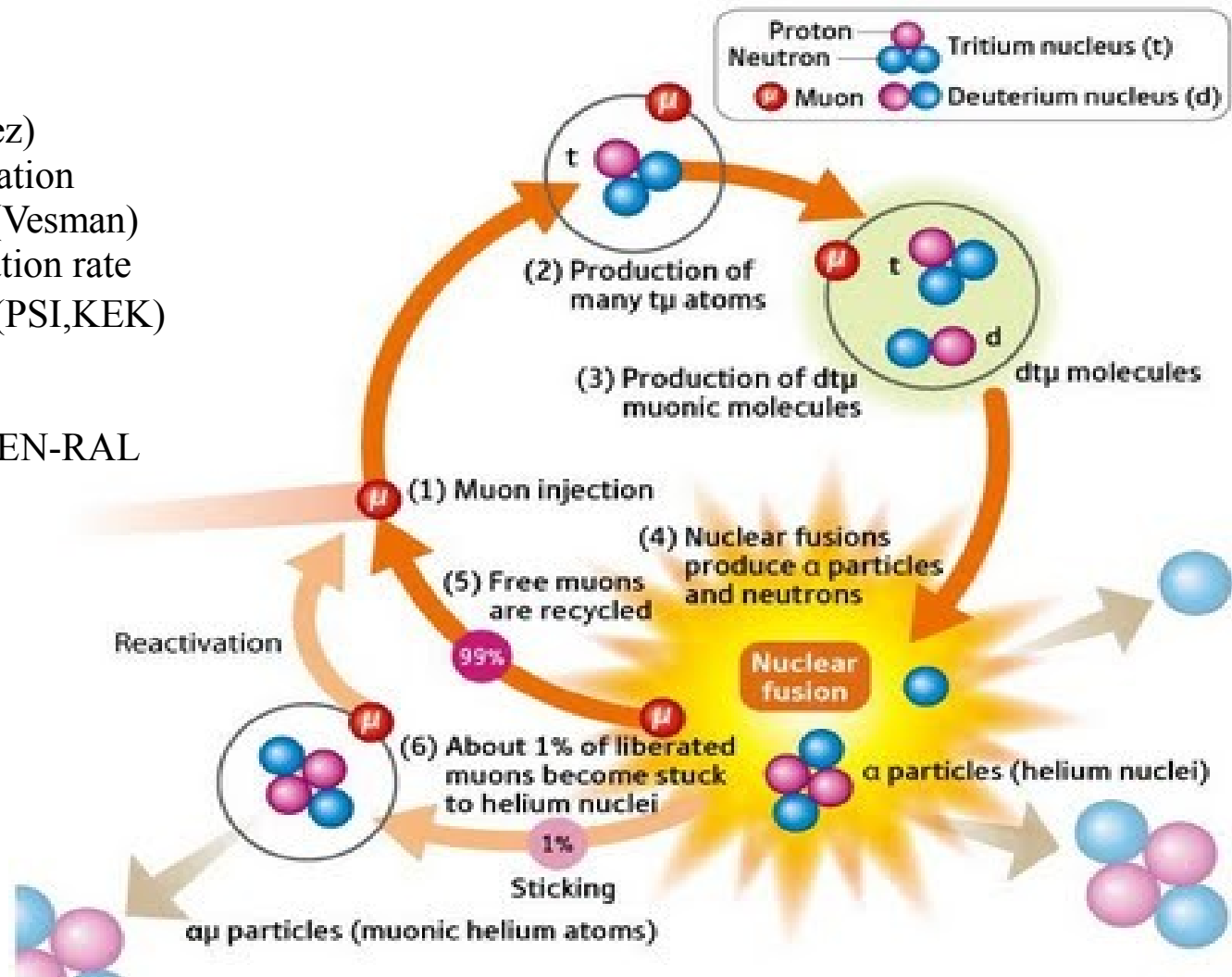
DT-Herstellung, Konditionierung

Myon-Erzeugung

In the RIKEN-RAL Muon Facility, a single muon is capable of inducing d-t nuclear fusion 120 times before it decays, producing 2 GeV of energy.

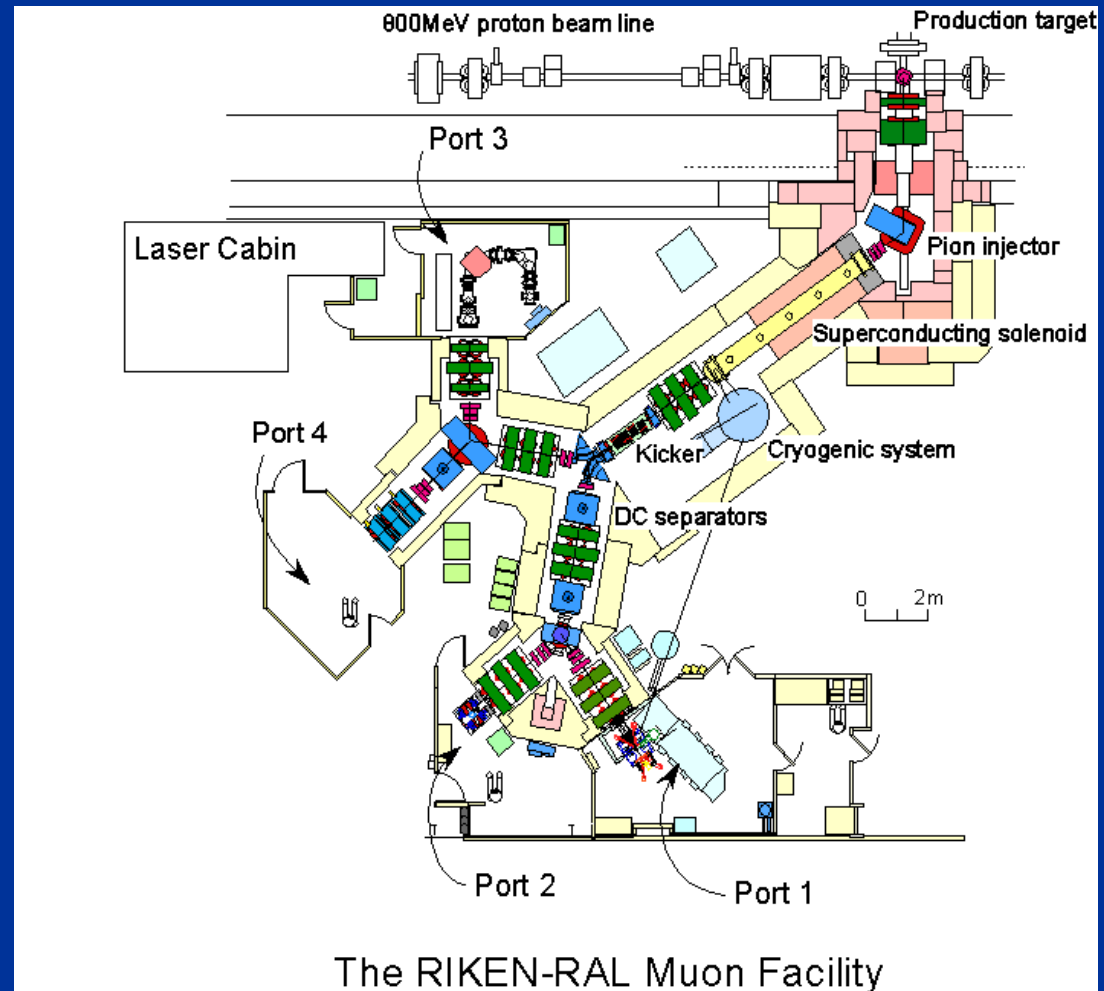
History

- 1947 Hypothesis of μCF (Frank)
- 1957 observation of $\text{pd}\mu$ fusion (Alvarez)
- 1966 observation of resonant $\text{dd}\mu$ formation
- 1967 hypothesis of resonant formation (Vesman)
- 1979-82 observation of large $\text{dt}\mu$ formation rate
- 1987 observation of x-rays from $(\alpha\mu)^+$ (PSI, KEK)
- 1993 large $\text{dd}\mu$ formation rate in solid
- 1995 study with eV beam of $(\text{t}\mu)$
- 1997 systematic study of x-rays at RIKEN-RAL
- ^3He accumulation, $\text{tHe}\mu$, ...



RIKEN-RAL – Myonen - Anlage

- Gepulster Proton-Strahl von ISIS (Synchrotron-Beschleuniger)
- Pionen zerfallen in Myonen
- Supraleitende Solenoid-Spule
- Impulsbereich: 20 - 120 MeV/c



Messungen am RIKEN-RAL

- Feste und flüssige D-T-Gemische
- Tritiumkonzentrationen: 20 – 70 %
- Temperaturen: 5 – 16 K bzw. 20 K
- Mit sinkender Temperatur:
 - kein erwarteter steiler Abfall von Zyklenrate λ_c
 - Anstieg der Verlustwahrscheinlichkeit W

Zusammenfassung Myon-Fusion

Myon-Fusion ist **Tunnelfusion** (QED)

Ladungsdichte und Kernabstände sind anders als in H₂,D₂,DT

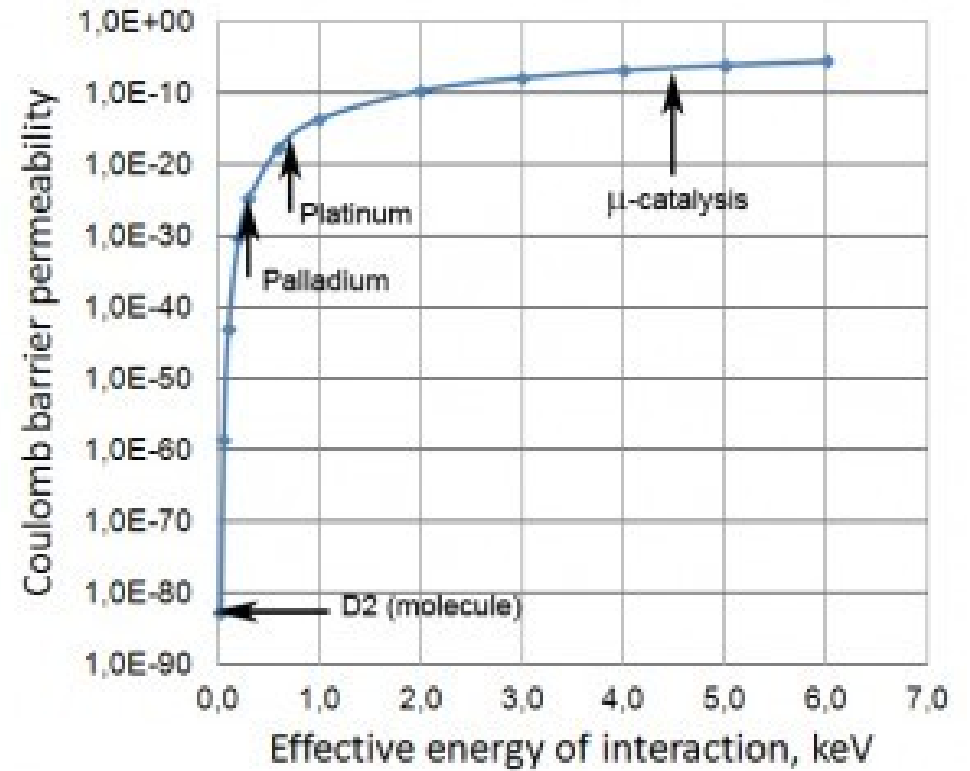
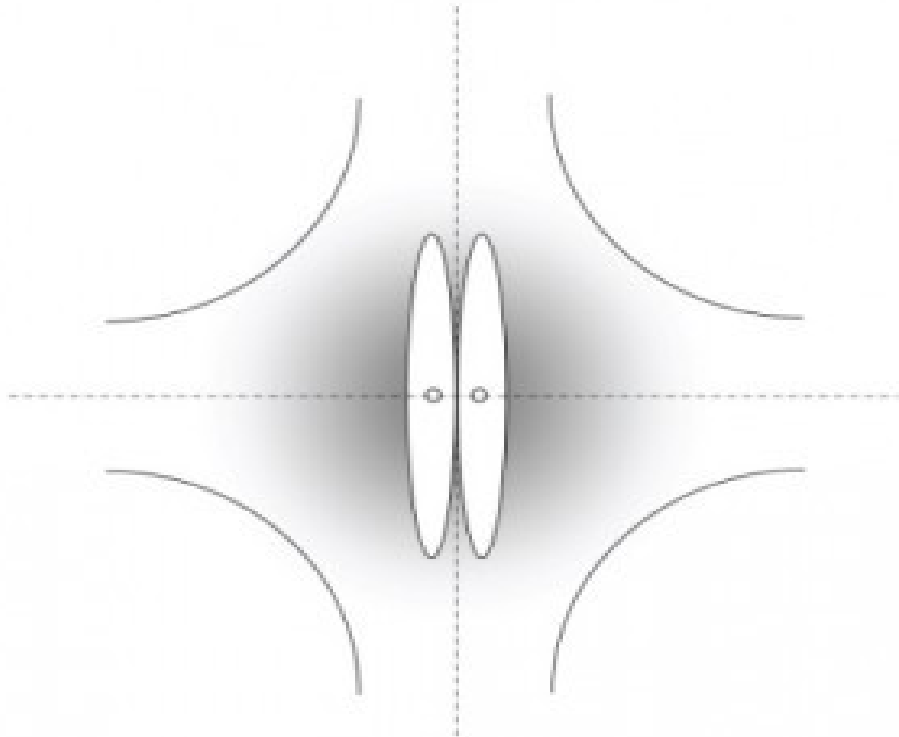
Einfluß der schwachen Wechselwirkung

Einfluß der kosmischen Myonen auf „kalte“ Fusionen

Andere Methoden zur Verminderung des Kernabstandes in Wasserstoffmolekülen

- **Druck: Metalle → PdD,
→ metallischer Wasserstoff**
- **Bose-Einstein-Condensation: Supraleitung, Hell, Alkali-BEC, hochdichtes Deuterium**

H und D im Metallgitter



<i>Crystal type</i>	<i>Screening potential, eV</i>	<i>Oscillation frequency ν, s^{-1}</i>	<i>Barrier permeability $e^{-2\pi\eta}$</i>	<i>Rate of DD fusion λ, s^{-1}</i>
<i>Palladium</i>	<i>300</i>	<i>0.74×10^{17}</i>	<i>1.29×10^{-25}</i>	<i>0.95×10^{-8}</i>
<i>Platinum</i>	<i>675</i>	<i>1.67×10^{17}</i>	<i>2.52×10^{-17}</i>	<i>4.21</i>

Fermi- und Bose-Teilchen

- Teilchen haben auch Welleneigenschaften (deBroglie)
- Elementarteilchen sind ununterscheidbar: Fermi bzw. Bosestatistik
- Die „Bahn“ wird durch eine komplexwertige Wellenfunktion $\psi = a+ib$ ersetzt.
- Das Quadrat $\psi\psi^+$ ist die Aufenthaltswahrscheinlichkeit.

Eigenschaften der Wellenfunktion bei Vertauschung :

$$\psi(r_1, r_2) = -\psi(r_2, r_1) \rightarrow \text{Fermion} \rightarrow \text{Besetzungsdichte} \leq 2$$

$$\psi(r_1, r_2) = +\psi(r_2, r_1) \rightarrow \text{Boson} \rightarrow \text{Besetzungsdichte} \leq \infty$$

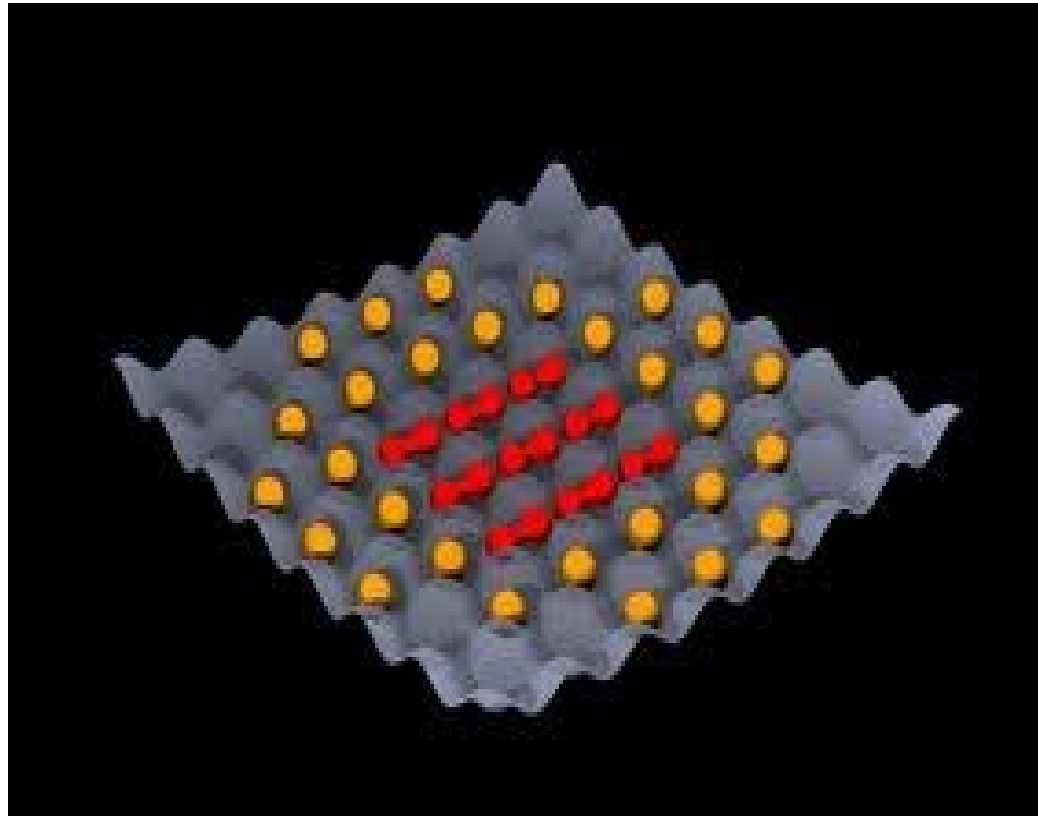
Bose-Einstein-Condensation=kollektives Verhalten von Bosonen
im (Grund)Zustand: Elektronenpaare \rightarrow SL, Photonen \rightarrow Laser

$^4\text{He} \rightarrow$ Suprafluidität $< 2,12\text{K}$, $^3\text{He} \rightarrow$ SF $< \mu\text{K}$,

^7Li , ^{23}Na , ^{41}K , ^{87}Rb ,.. \rightarrow kalte (μK !) Quantengase, Quantenwirbel

Bose-Einstein-Kondensation

- Gasatome im Eierkarton-Potential (gekreuzte Laserfelder)
- Besetzungsdichte ≤ 2 für Fermionen, $0-\infty$ für Bose-Teilchen



Alkali-Atome im Eierkarton-Potential, Nobel-Preis für Ketterle (1995/2001)

Wasserstoff ist ein „Alkalimetall“ (1s-e). Kann BEC mit Wasserstoff stattfinden?

BEC mit Wasserstoff?

Bose-Einstein Condensation of Atomic Hydrogen

Dale G. Fried, Thomas C. Killian, Lorenz Willmann, David Landhuis, Stephen C. Moss, Daniel Kleppner, and Thomas J. Greytak

Phys. Rev. Lett. 81, 3811 (1998)

Published November 2, 1998

The peak condensate density is $4.8 \pm 1.1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$, corresponding to a condensate population of 10^9 atoms. The BEC transition occurs at about $T = 50 \mu\text{K}$ and $n = 1.8 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$.

Damit ist H_{BEC} dichter als ITER-Plasma!

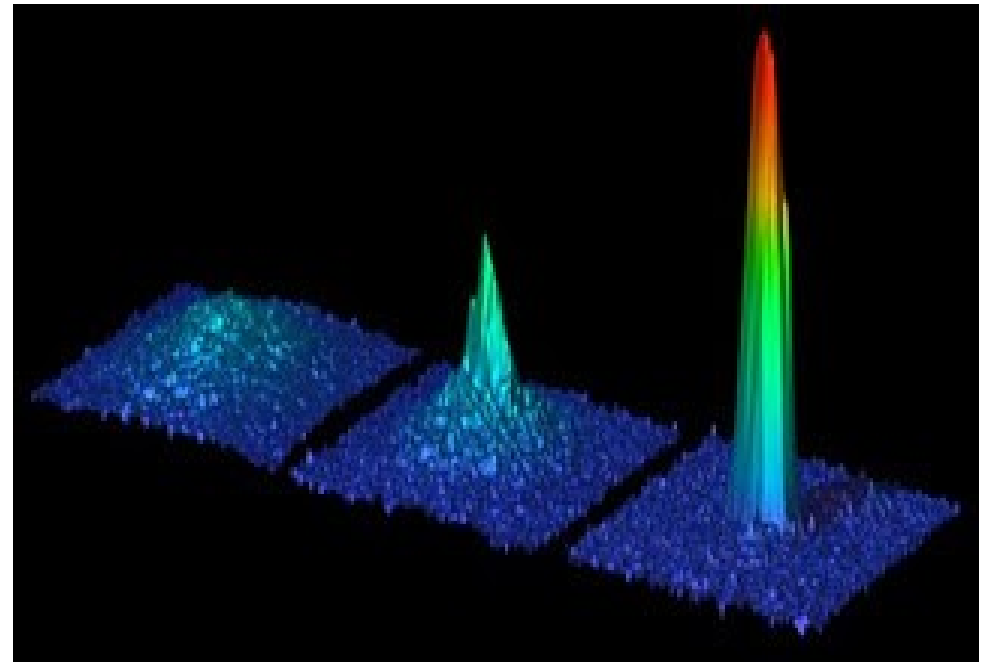
Rechts: gemessene Dichtebilder als Funktion der Temperatur

Fragen:

Sind alle 10^9 Protonen am gleichen Ort?

Warum findet dann keine Fusion statt?

Geht das auch mit Deuterium?



Bose-Einstein-Kondensate

- Alkali-Isotope mit ungeraden Massenzahlen sind Bosonen: Kern + einzelnes s-Elektron sind Fermionen und haben Gesamtspin 0 → das Atom ist ein Boson
- Proton und Triton sind Fermionen, Deuteron (Spin 1) ist Boson
- Nackte Deuteronen können in Metallgittern BEC bilden
- SL-Elektronen + Deuteronen können 2-Phasen-BEC bilden

Theorie für BEC-Nuclear Fusion

- Yeong Kim, Professor an Purdue Univ., IN Gruppenleiter Nuclear und Many-body Theorie-Gruppe

BECNF theory can explain the following experimental observations either qualitatively or quantitatively.

Experimental Observations from both electrolysis and gas loading experiments (as of 2011, not complete) (over several hundred publications):

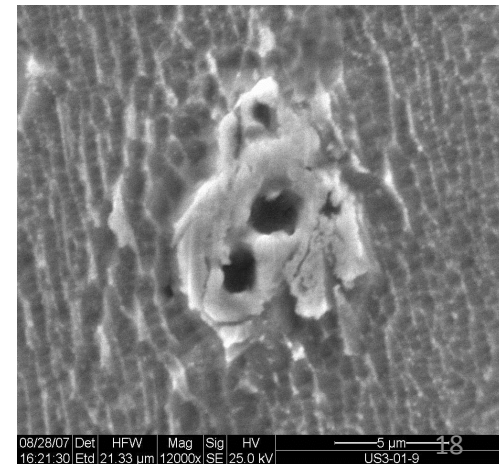
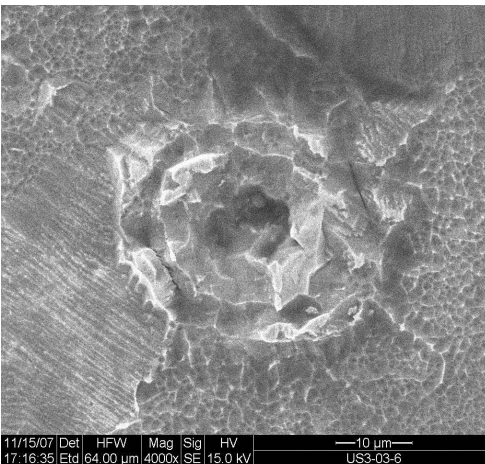
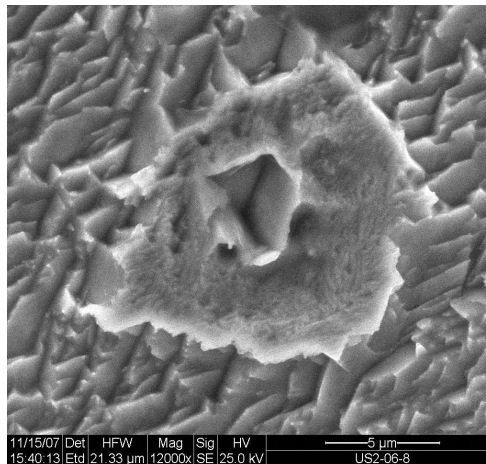
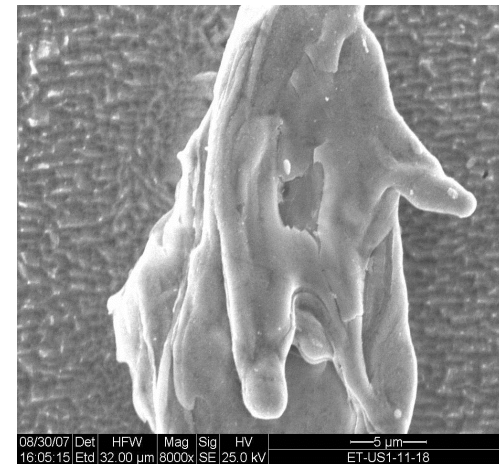
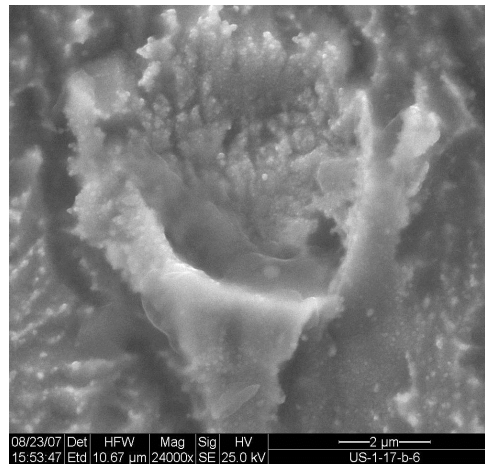
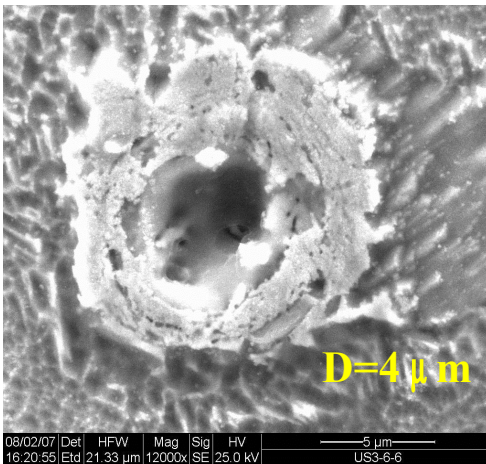
- [1] The Coulomb barrier between two deuterons is suppressed (**Miracle #1**)
- [2] Production of nuclear ashes with anomalous low rates: $R(T) \ll R(^4\text{He})$ and $R(n) \ll R(^4\text{He})$ (**Miracle #2**)
- [3] ^4He production commensurate with excess heat production, no 23.8 MeV gamma ray (**Miracle #3**)
- [4] Excess heat production (the amount of excess heat indicates its nuclear origin)
- [5] More tritium is produced than neutron $R(T) \gg R(n)$
- [6] Production of **hot spots and micro-scale craters** on metal
- [7] Detection of radiations
- [8] "Heat-after-death"
- [9] Requirement of deuteron mobility ($D/Pd > 0.9$, electric current, pressure gradient, etc.)
- [10] Requirement of deuterium purity ($H/D \ll 1$)



Mikrokrater nach Elektrolyse von PdD

SEM images from Energetic Technologies Ltd. in Omer, Israel

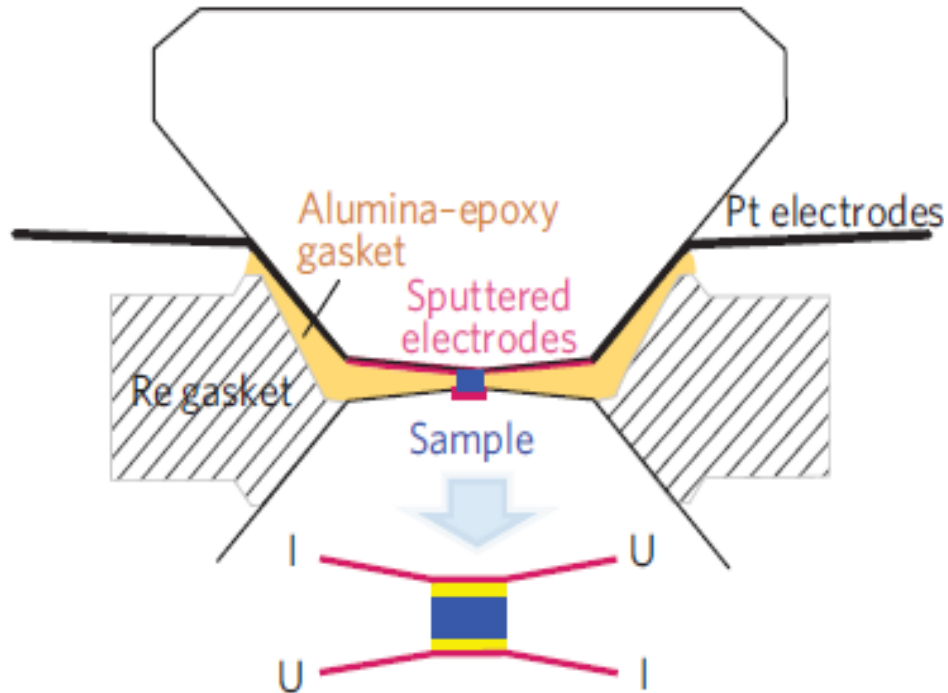
Micro-craters produced in PdD metal in an electrolysis system held at 50 C in which excess heat and helium was produced. A control cell with PdH did not produce excess heat, helium or micro-craters. The example in the upper left-hand SEM picture is a crater of 4 micron diameter and 6 micron depth.



Conductive dense hydrogen, (in a diamond anvil cell)

M.I.Eremets, I.A.Troyan, MPG-Chemie in Mainz
Nature Materials 13.11.2011

c



a

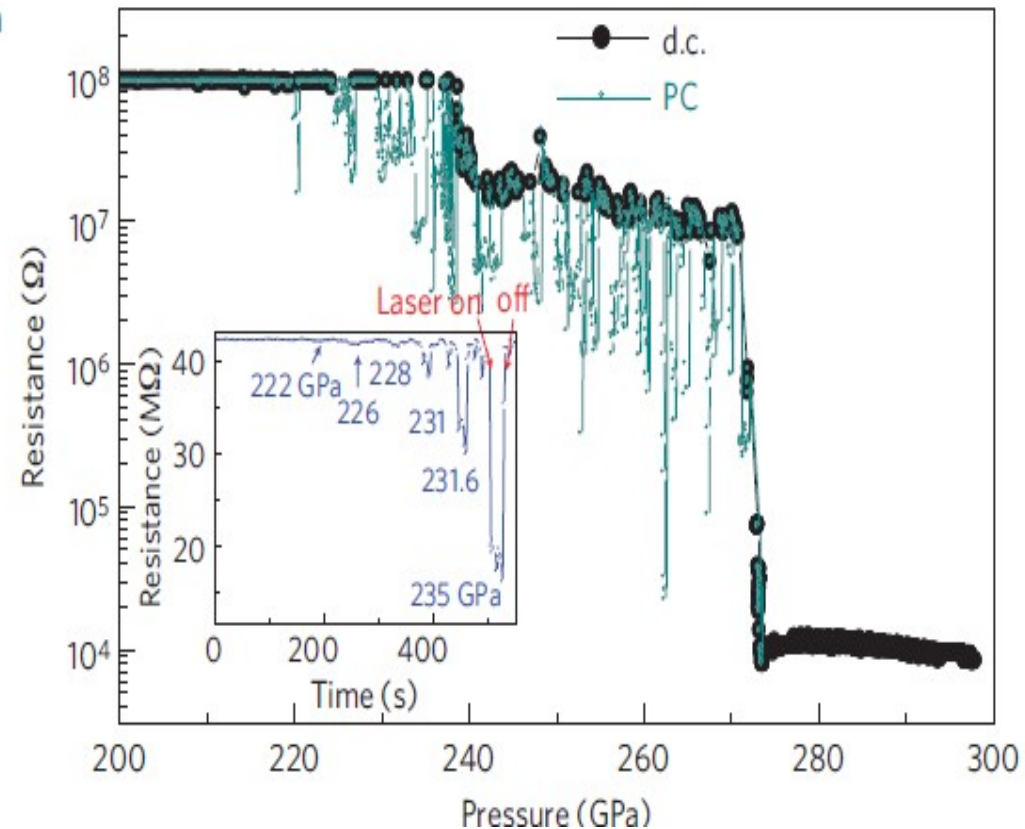


Figure 3 | Electrical measurements of the hydrogen samples. **a**, Resistance of the hydrogen sample as a function of pressure and illumination. A measurable current appeared at pressures above 220 GPa every time the sample was illuminated with a He-Ne laser of ~ 5 mW power:

The phases of deuterium at extreme densities

Paulo F. Bedaque, Michael I. Buchoff and Aleksey Chermanz, Maryland Center for Fundamental Physics

Extrakt:.....the deuterons at zero temperature will crystallize into a lattice. The temperature at which the crystal melts scales as $a_0 T_{\text{crys}} \sim 1/180\alpha (a_0/l)^*$, where α is the electromagnetic coupling constant.

On the other hand, the **deuterons Bose-condense** at temperatures below $a_0 T_{\text{cond}} \sim 4\pi^2/3 (Ma_0)^{-1} (a_0/l)^2$, where M is the deuteron mass [2]. **Therefore, at high enough densities ($l \leq a_0$), there is a range of temperatures T , $T_{\text{crys}} < T < T_{\text{cond}}$, where a quantum liquid of deuterons should form.** Since deuterons are charged bosons, the quantum liquid will be a **superconducting superfluid**....

*) l : interparticle distance, a_0 : Bohrscher Radius

Feynmann-Graph für

D_{BEC} Wechselwirkung:

Auch Spin, schwache+

Starke Wechselwirkung

Sind einzuschließen

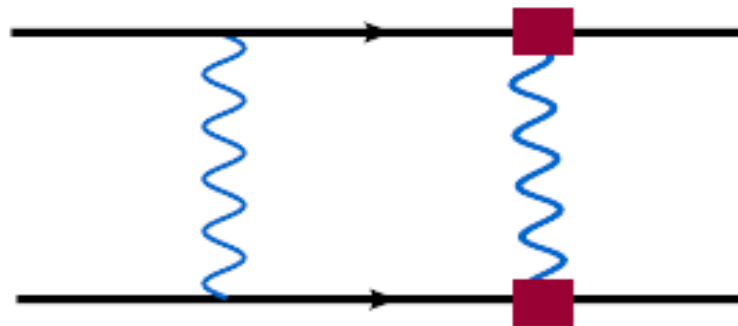
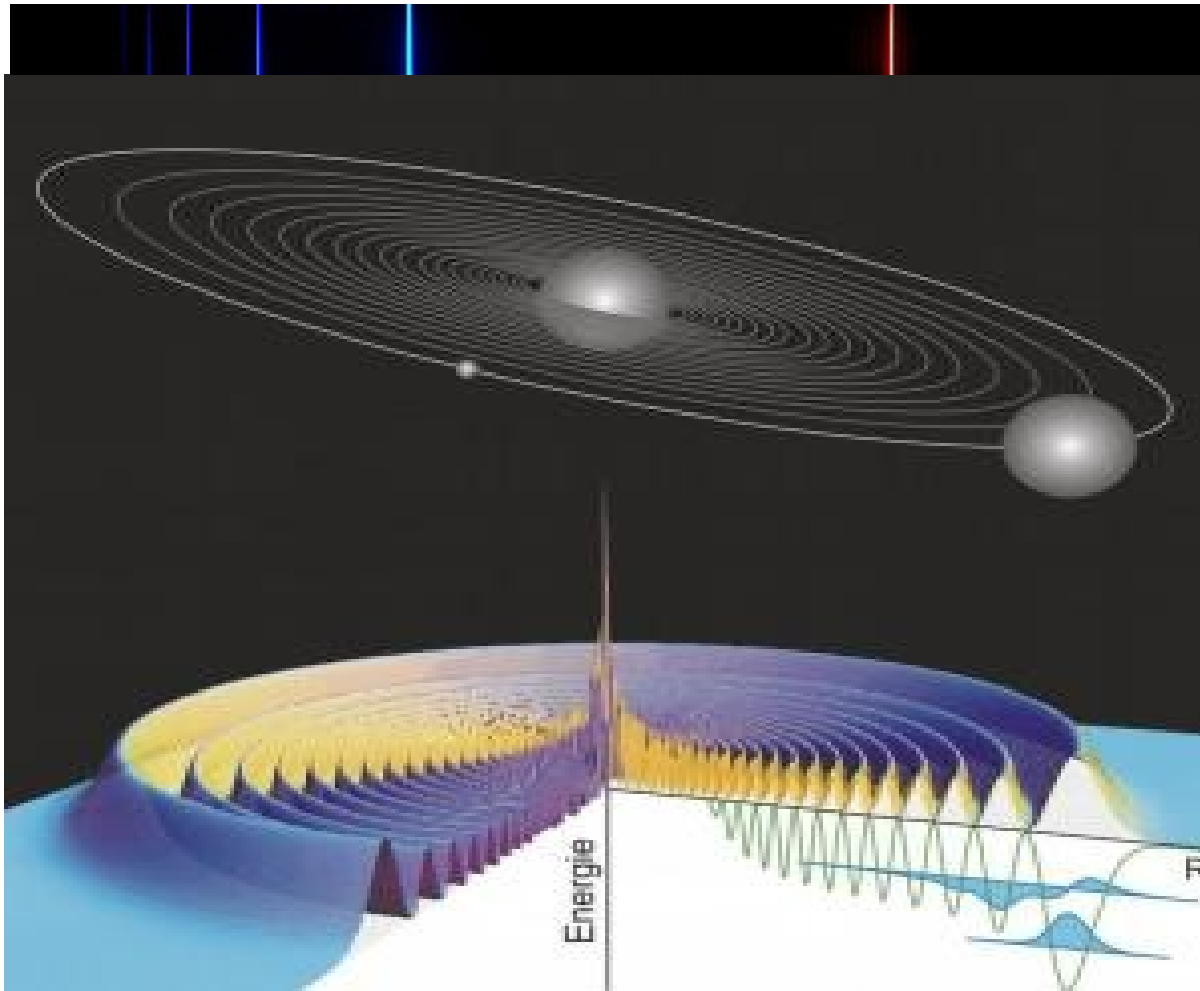


FIG. 4: Leading electromagnetic $SU(3)$ breaking effect. The square vertex represents a magnetic dipole interaction.

Rydberg-Atome und -Materie

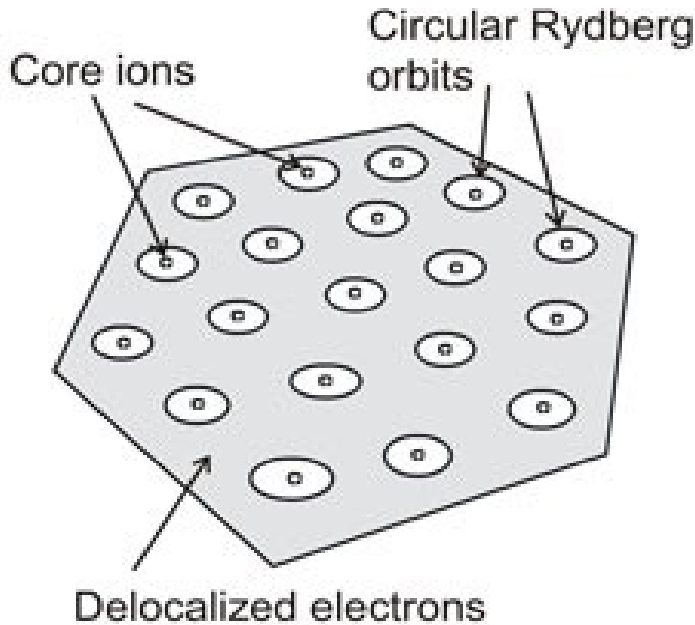
- Wasserstoffatom-Linienspektrum:
- $1/\lambda = Ry(1/n_1^2 - 1/n_2^2)$, $n=1,..100$. Ry:Rydbergkonstante



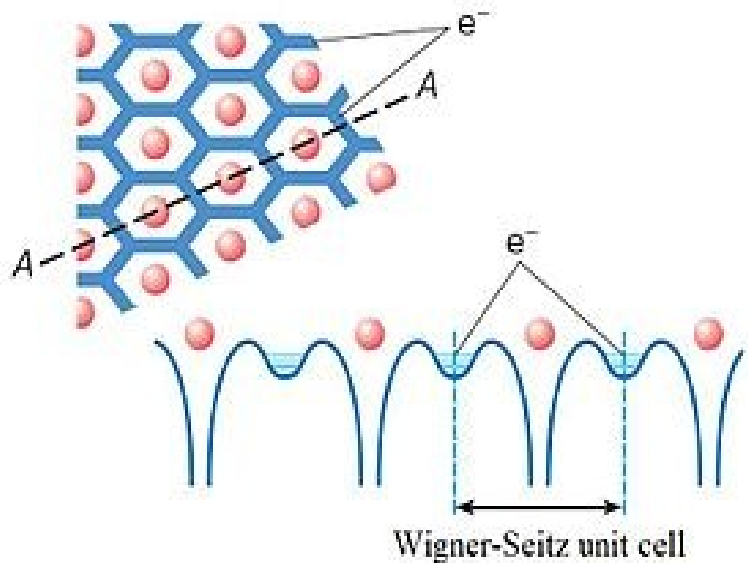
← Balmer-Linien

Atom mit Rydberg-Elektron und 2tes eingefangenes Atom auf dem Radius der Rydbergbahn
Unten: Wellenfunktion+Dichte

Kondensierte Rydbergmaterie



n	d (nm)	D (cm ⁻³)
1	0.153	2.8×10^{23}
4	2.45	
5	3.84	
6	5.52	
10	15.3	2.8×10^{17}
40	245	
80	983	
100	1534	2.8×10^{11}



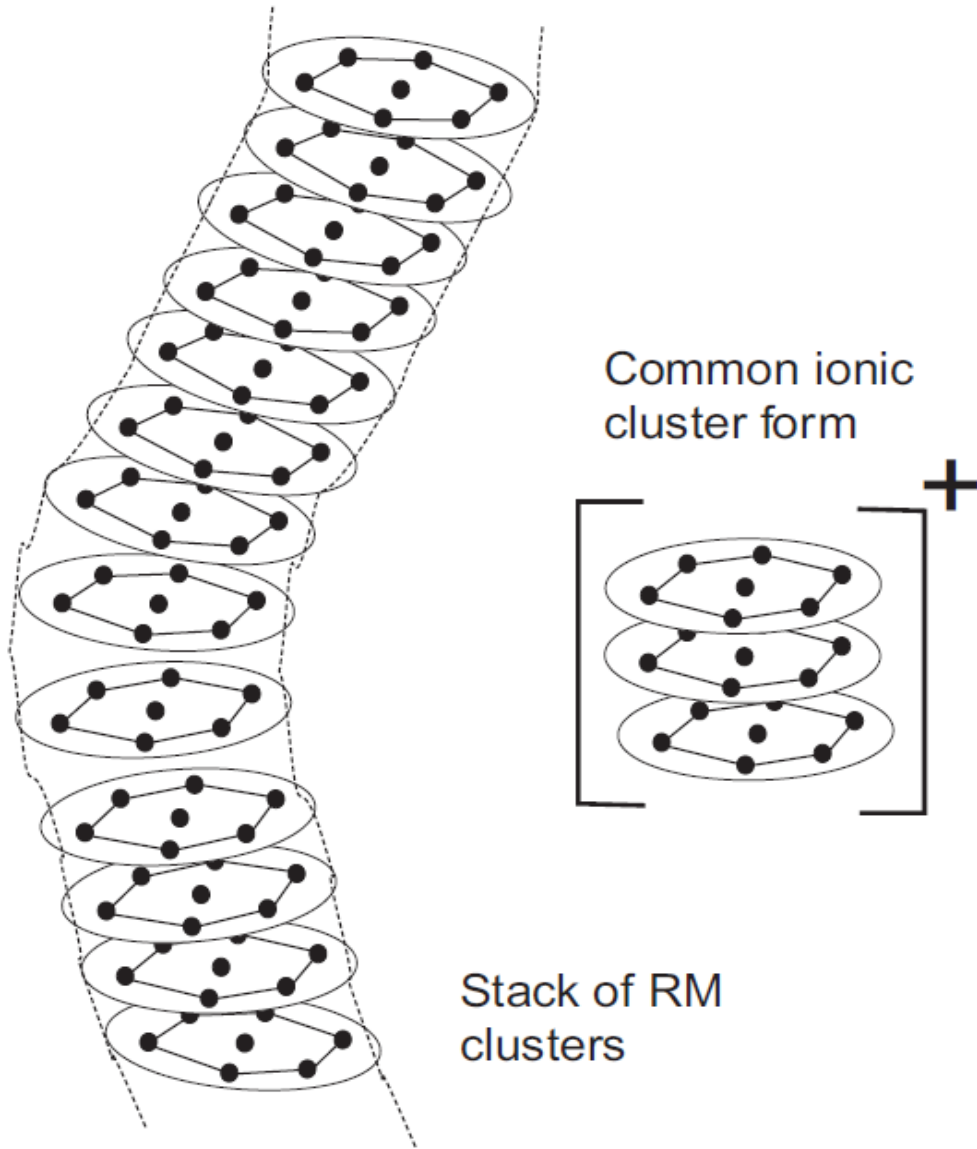
Bilder und Tabelle aus Wikipedia über Rydbergmaterie (Holmlid),

Oben links: K_{19} , H_{19} oder D_{19} -Pizza

$H(1)_n$ und $D(1)_n$ haben metallische Leitungsbänder

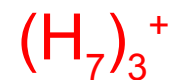
Unten links: Elektronendichte und Potential

Münzrollen-Wasserstoff aus H₇-“Münzen“



Stapeln von H₇ bzw. D₇-
Clustern an der Oberfläche
von KFeO₂

Auslösen von neutralen oder
geladenen Clustern



mit einem Nd-YAG-Laserpuls
(~0,1J, 5 ns)

Fig. 1. A stack of H₇ Rydberg Matter clusters, and a common ionic form detected in the TOF-MS experiments.

Efficient source for the production of ultradense deuterium D(-1) for laser-induced fusion (ICF)

Patrik U. Andersson, Benny Lönn, and Leif Holmlid

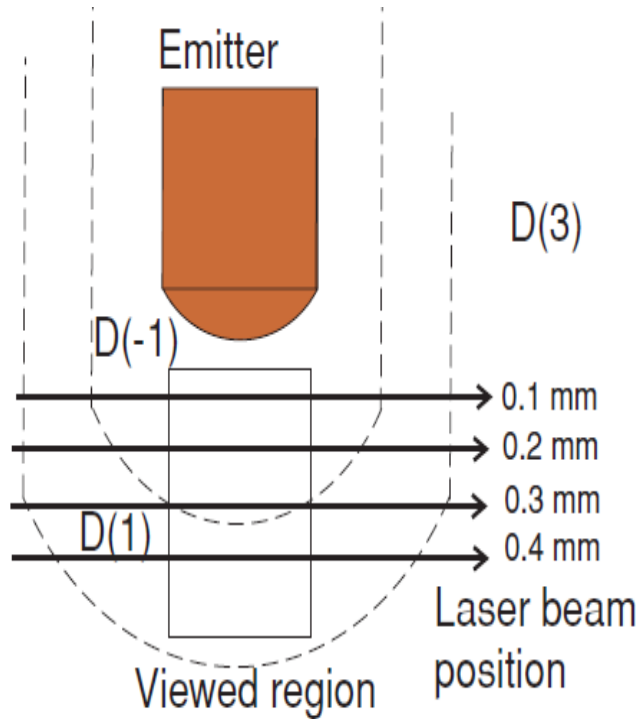


FIG. 5. (Color online) The laser beam position in the cloud below the emitter is shown for the data in Fig. 4. The approximate regions in space for different forms of condensed deuterium are indicated.

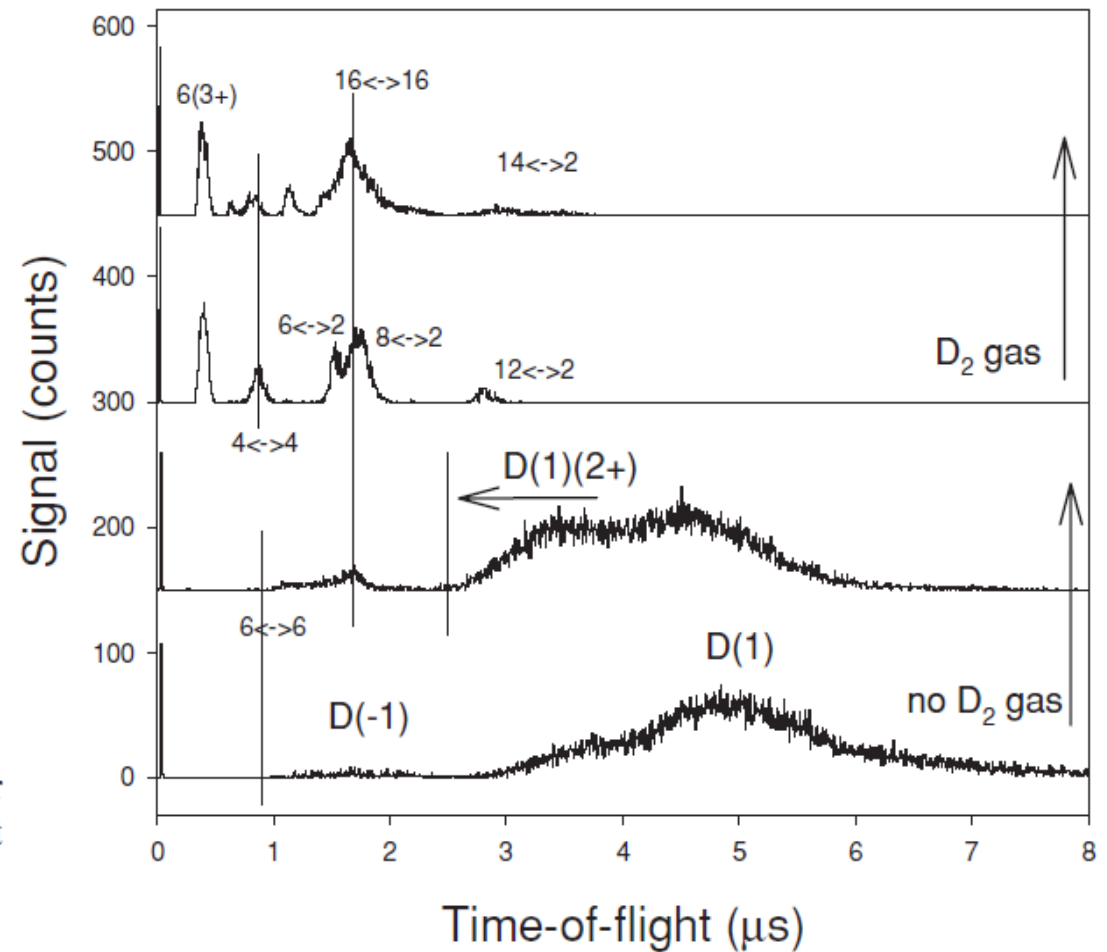
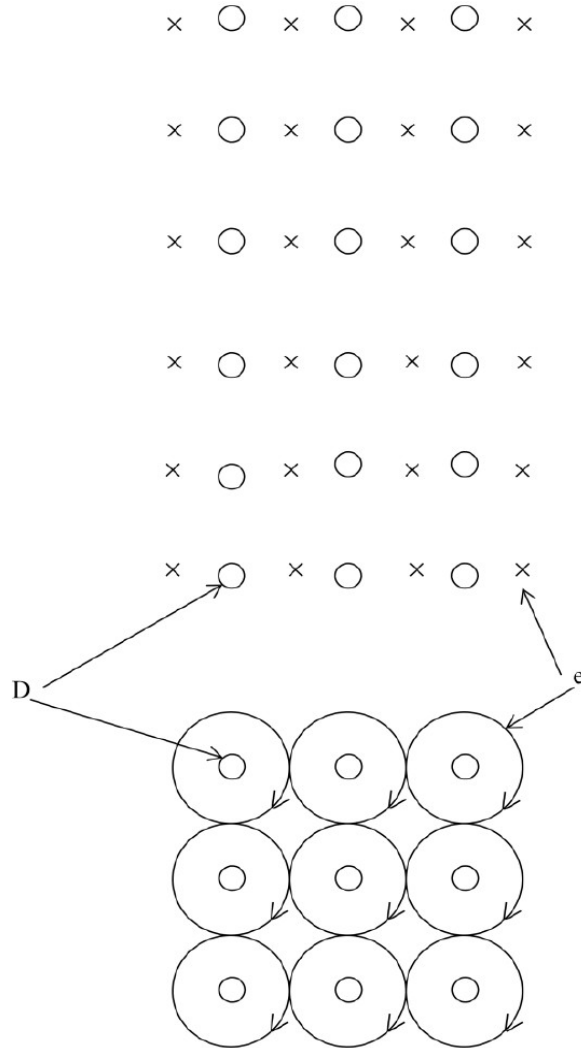


FIG. 3. Experimental proof that the D(-1) clusters are due to the D₂ gas inlet. No admission of D₂ prior to the experiment during several days. With no D₂ admission, peaks due to D(1) dominate, while small D(-1) clusters are formed in the cluster growth process after D₂ admission.

Bildung von D(-1) durch Wirbelbildung der Rydbergelektronen nach Winterberg:



the ultradense state is a tower of piled up deuterium Rydberg atoms.

Since under normal conditions it is not possible to have a configuration where the deuterons move around the electrons, this points into the direction of a large effective mass for the electrons, possible if the electron fluid forms vortices, because vortices have a large effective mass.

Oder: Elektronen und Deuteronen bilden je ein BEC, das via EM-Wechselwirkung aneinander gekoppelt ist.

Fig.4. Ultradense deuterium- electron vortex tower: D deuterium nuclei, e electron fluid vortices.

Apparatur zum Nachweis der Fusion von Deuterium im Zustand D(-1)

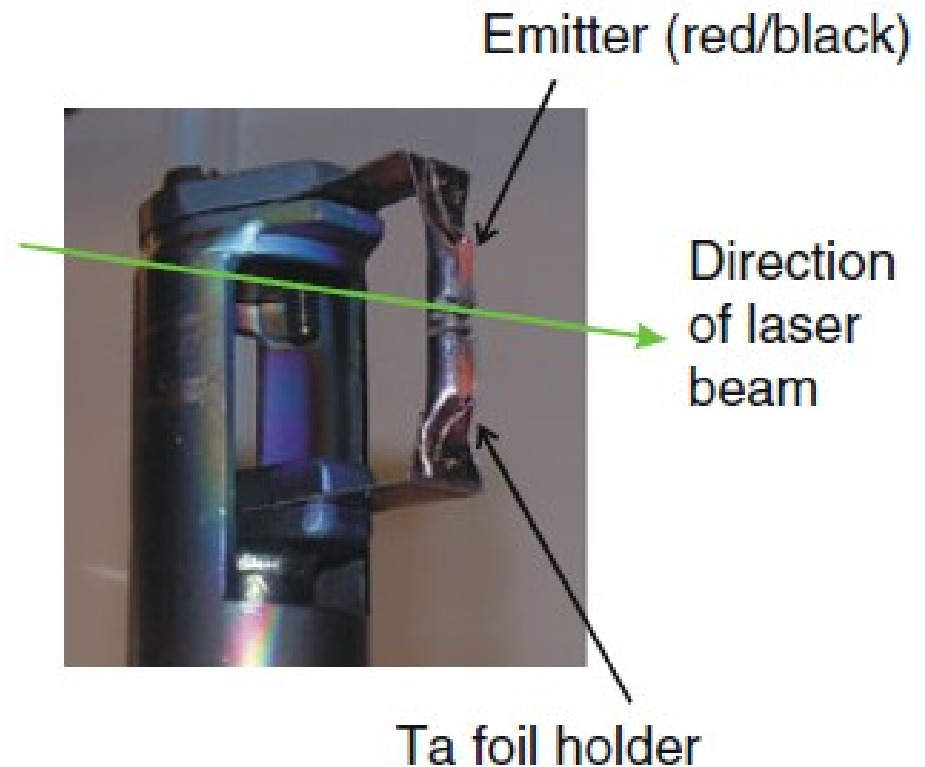
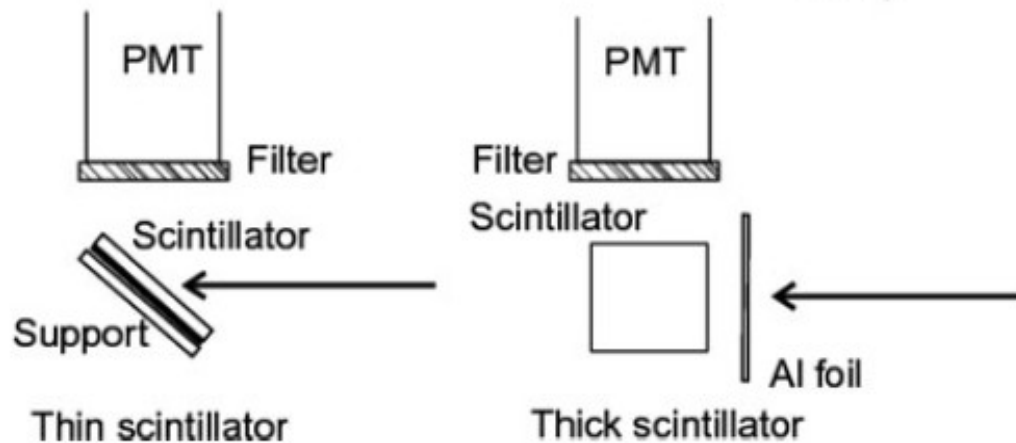
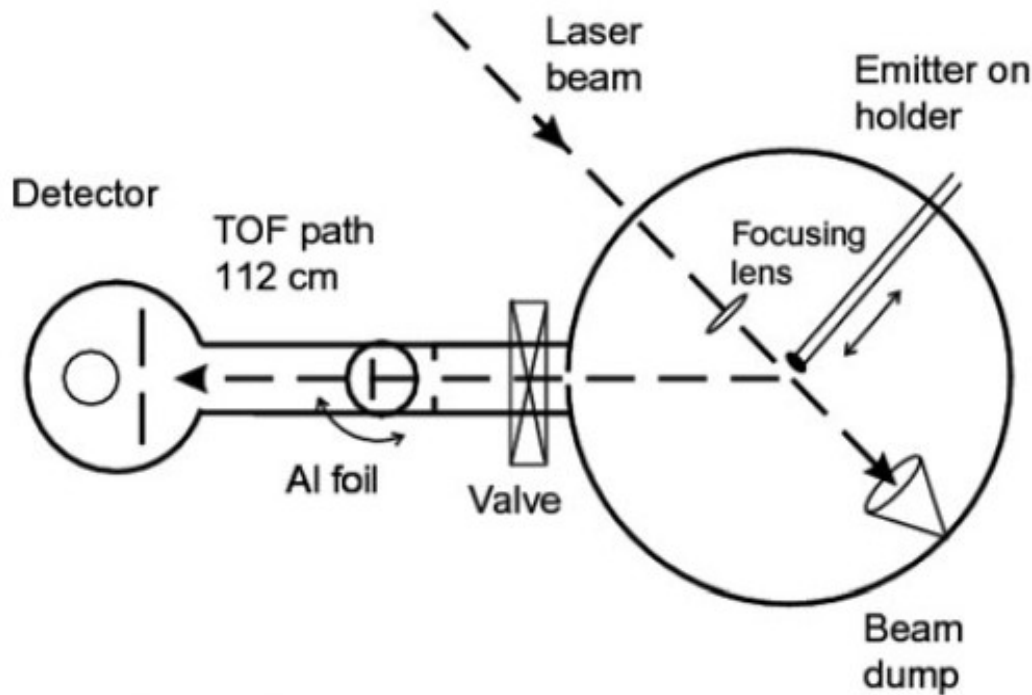


Fig. 1 Principle of the apparatus used. The two forms of the scintillator detector are shown. The thin scintillator is 0.1 mm thick, and the thick scintillator is 50 mm thick

Verteilung der Fusionsprotonen mit $kT \sim 8$ keV

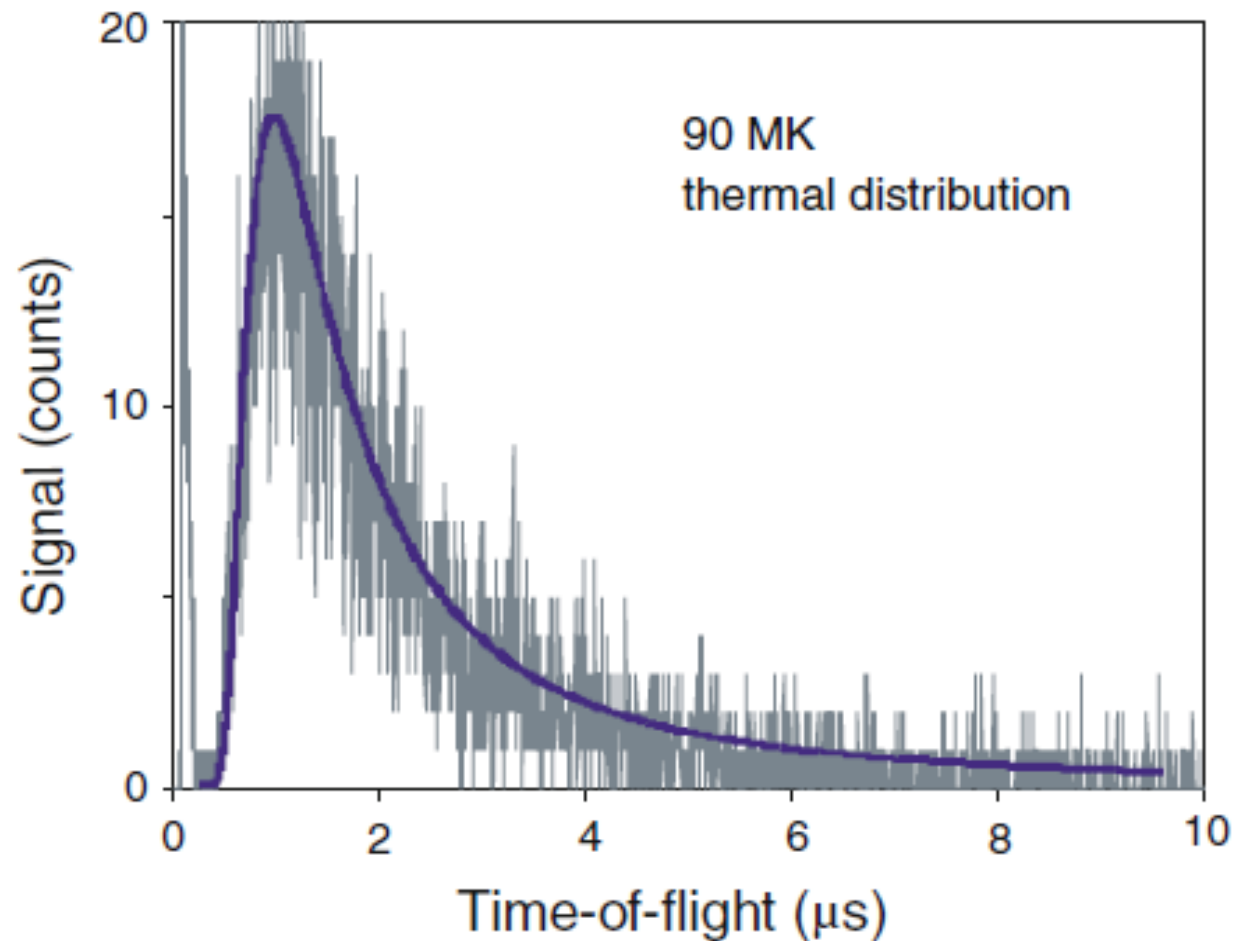
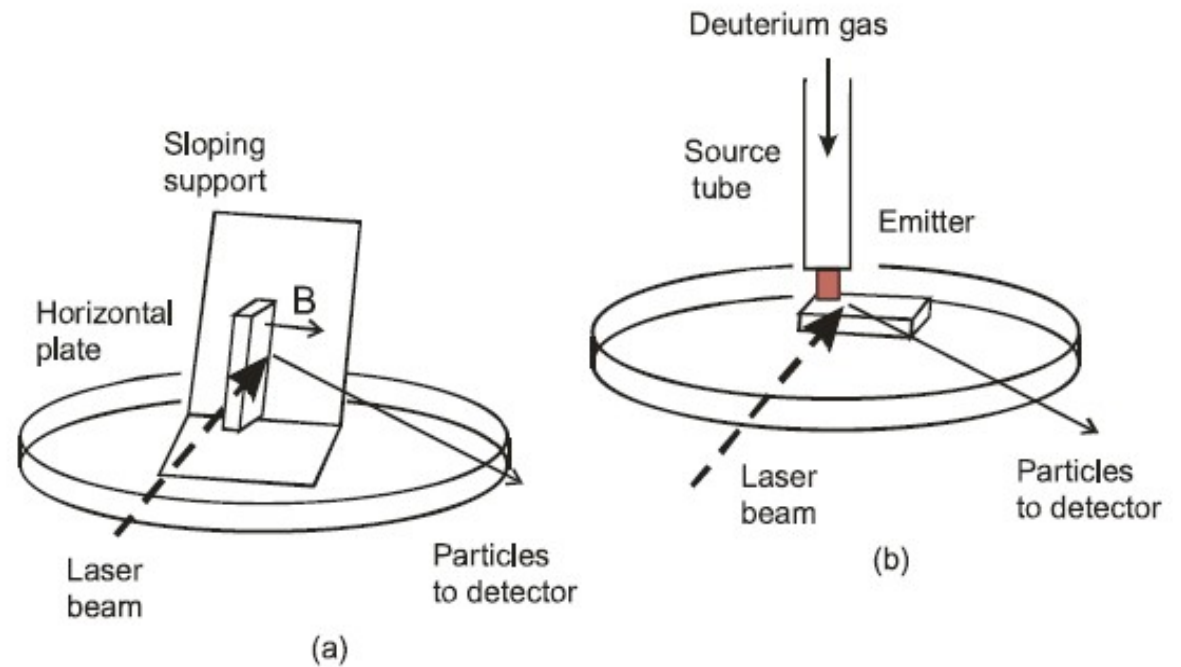


Fig. 7 (*Color online*). Time variation of the ion signal at the thick scintillator detector, with an Al foil in the beam to block slow particles. The thermal TOF curve is calculated for protons with close to 90 MK temperature (8 keV). Note that the signal falls below the thermal curve at times longer than a few μs

HDD-Generation im magnetischen Feld

Fig. 3 Two different experiments. The angle between the laser and the particle beams is 45° . The plate can be placed in any position below the source. The horizontal plate has a diameter of 30 mm. In (a) one experiment with the magnet on the sloping support is shown, with results in Fig. 6, middle trace. In (b) the source is in contact with the magnet which lies flat on the horizontal plate, with results in Fig. 8



Ultra-dense deuterium $D(-1)$ is predicted to be a superconductor type-II at room temperature. Here we show that a magnetic field stronger than approximately 0.05 T prevents the formation of, and even removes the $D(-1)$ material from the magnetic field. The observed lifting of the clusters from the magnet surface agrees with theory for the Meissner effect. Each chain or bead cluster of $D(-1)$ probably contains a central vortex, and it will have electrons with large orbits in the superconductive state. The experiments show strong magnetic effects and in the Coulomb explosion spectra, $D(-1)$ is missing completely in a magnetic field stronger than 0.05 T.

Large intensities of MeV particles and strong charge ejections from laser-induced fusion in ultra-dense deuterium

F. Olofson¹, A. Ehn², J. Bood², L. Holmlid¹

¹*Department of Chemistry and Molecular Biology, University of Gothenburg, SE-412 96 Göteborg, Sweden*

²*Combustion Physics, Department of Physics, Lund University, SE- 221 00 Lund, Sweden*

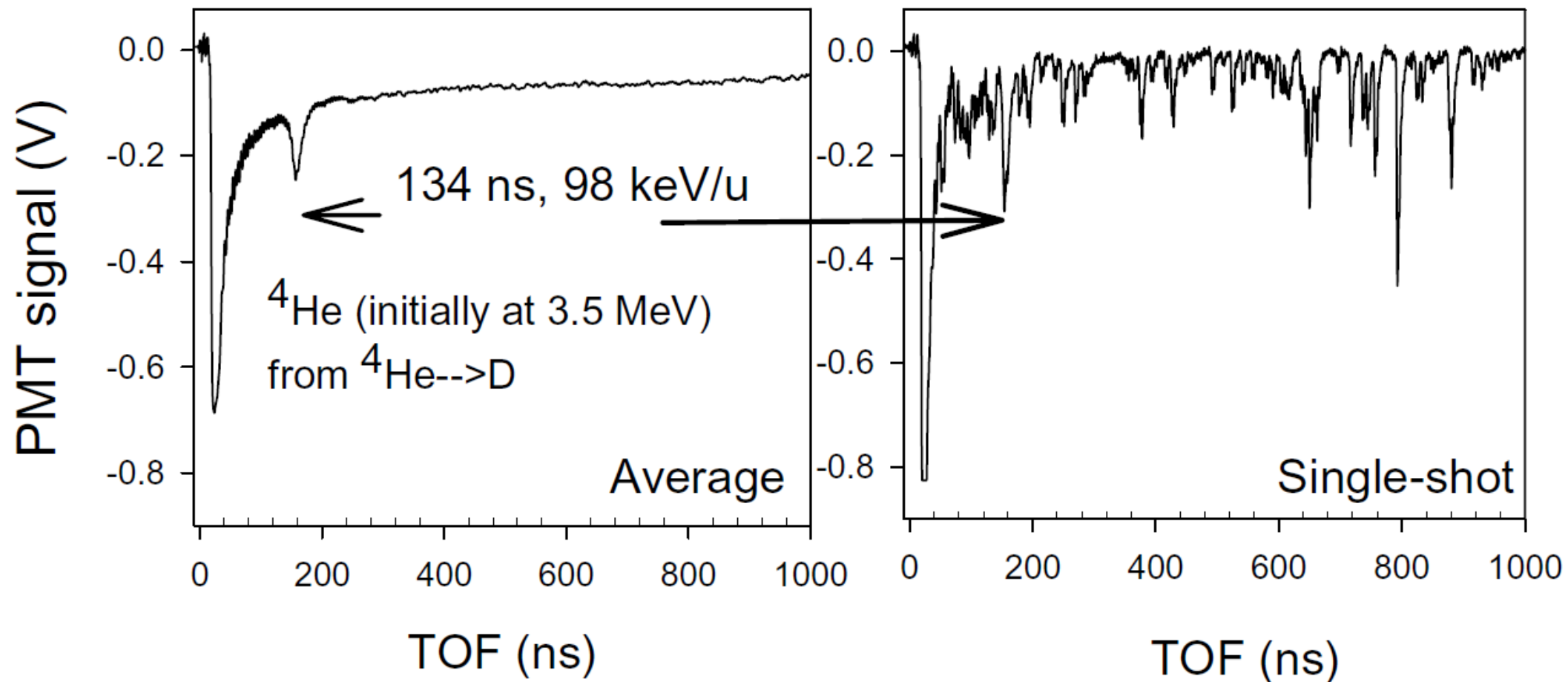


Fig. 2. Signal due to MeV particles in the PMT

Hochdichtes Deuterium, Zusammenfassung

- Herstellung aus kondensiertem Rydberg-Deuterium
- Dichte von $D(-1)$ bei $\sim 200^\circ$: 140000g/cm^3
- Suprafluid + supraleitend bei Raumtemperatur
- Coulombenergie pro Deuteron $\sim 630\text{ eV}$
- Metastabil bis $\sim 500\text{K}$
- Zündfähig mit Nd-YAG-Laserpuls $0,1\text{J}$, 5 ns
- Gemessene Fusionsprotonen mit 8 keV mittlerer Energie

Zusammenfassung

- Laserfusion ist machbar, aber: zu große Leistung notwendig
- Vorverdichtung, T-Gehalt, Geometrie,... zu Erforschen
- Tunnelfusion: Myon ist nützliche Sonde aber aufwendig
- BEC birgt enorme Potentiale und kann H/D-in-Metall-Fusion erklären
- **Wenn HDD reproduzierbar ist → Revolution**