

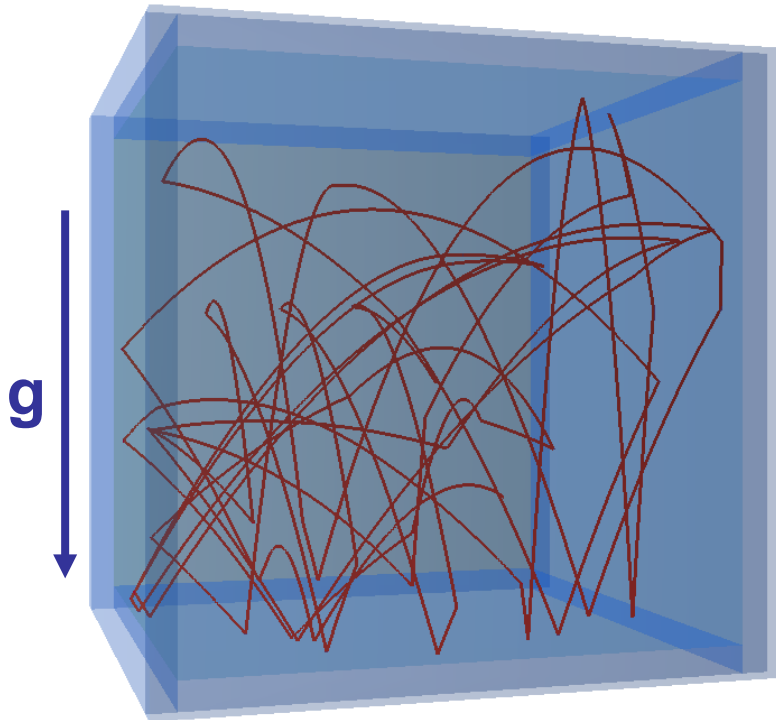
- 4 permanents:
  - Benoit Clément (MCF UJF, ATLAS jusqu'en 2013)
  - Guillaume Pignol (MCF UJF, médaille de bronze CNRS 2013)
  - Konstantin Protasov (Pr UJF, vice-président CA UJF)
  - Dominique Rebreyend (DR, responsable groupe)
- 3 doctorants:
  - Mathieu Guigue (3He, soutenance 2015)
  - Yoann Kermaidic (nEDM, soutenance 2016)
  - Damien Roulier (ILL, GRANIT, soutenance 2015)

\* UCN = Ultra Cold Neutron

- **Objectif:** pousser les limites d'expériences de précision (principalement) avec des neutrons de basse énergie pour rechercher des signaux de nouvelle physique.
- **Expériences:**
  - nEDM: mesure du moment électrique dipolaire du neutron (PSI)
  - GRANIT: étude des états quantiques de neutrons piégés dans le champ gravitationnel (ILL)
  - Recherche d'une nouvelle force de courte portée (sub-mm) avec l' $^3\text{He}$  polarisé (ILL)

UCN  $\equiv$  réflexion à tout angle d'incidence  
 $\rightarrow E \sim 100$  neV,  $v \sim 5$  m/s,  $T \sim$  mK

Simulation STARucn\*



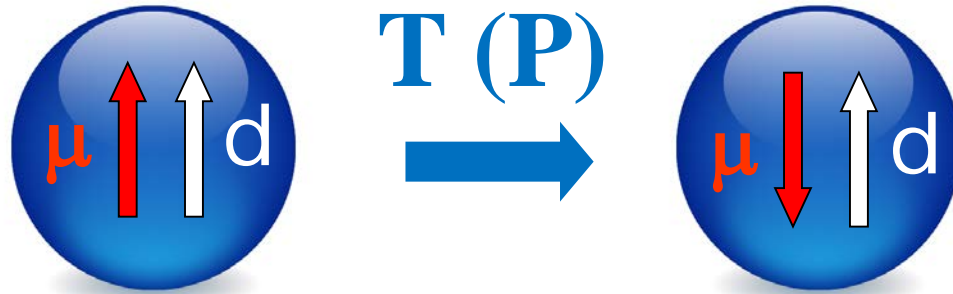
UCN sont sensibles à la gravité !  
1 m chute libre  $\sim 100$  neV

- **Sources UCN:**

- PF2/ILL (turbine):  $\sim 10$  UCN/cm<sup>3</sup>
- PSI (SD2):  $\sim 30$  UCN/cm<sup>3</sup>  
(500 attendus)
- SUN/ILL (He):  $\sim 10$  UCN/cm<sup>3</sup>
- Los Alamos, Mayence
- Projets ILL, Munich, Triumf...

\*<http://sourceforge.net/p/starucn>

# Le moment dipolaire électrique (EDM) du neutron et la violation de CP



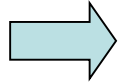
$n\text{EDM} \neq 0 \Rightarrow$  violation T et CP (théorème CPT)

Asymétrie baryonique de l'Univers ( $\text{BAU} \sim 5 \times 10^{-10}$ ) « impose » existence de nouvelles sources de violation de CP

- MS (CKM) :  $\text{BAU} \sim 10^{-20} \rightarrow d_n \sim 10^{-31} \text{ e.cm}$
- BSM baryogénèse :  $\text{BAU} \sim 10^{-10} \rightarrow d_n \sim 10^{-27} - 10^{-26} \text{ e.cm}$

Limite expérimentale:

- RAL-Sussex-ILL (2006) :  $d_n < 3 \times 10^{-26} \text{ e.cm}$
- Prochaine génération ( $\sim 2020-2030$ ) :  $\sim 10^{-27} \text{ e.cm}$



Atteindre une sensibilité de  $5 \times 10^{-27}$  e.cm à l'horizon 2025

- Collaboration ~ 40 personnes (Suisse, Allemagne, France, Pologne...)
- Mesure avec spectro RAL-Sussex au PSI (2013-201?) → ~  $2 \times 10^{-26}$  e cm
- Objectif final avec nouveau spectromètre n2EDM (2020 →)



Chambre de précession au centre du blindage magnétique

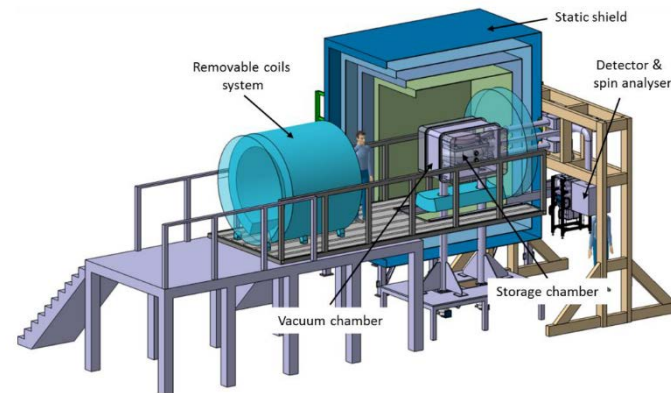
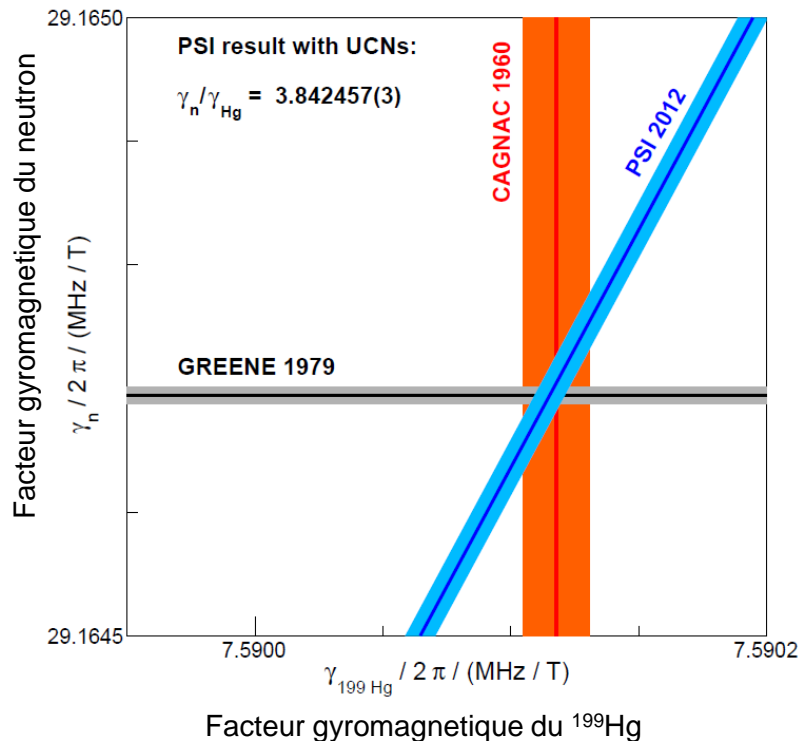


Schéma du spectromètre n2EDM

- Contributions LPSC: magnétométrie Hg, source courant (SE), database AMI-like (SI), calcul systématiques, analyse.
- Faits marquants:
  - Obtention ANR 2015-2018 (contribution française à n2EDM)
  - Nouvelle mesure du moment *magnétique* du neutron (PLB 2014)

# La mesure du moment magnétique du neutron

## Mesure du rapport $\gamma_n/\gamma_{\text{Hg}}$ (ligne bleue)

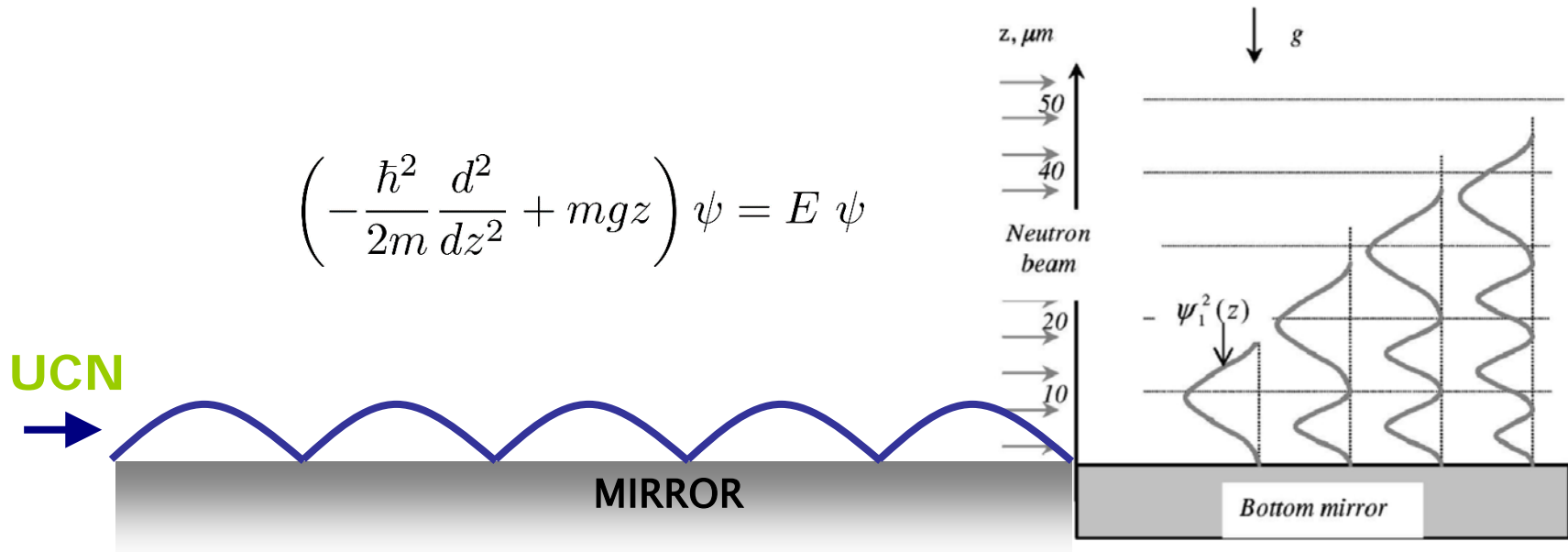


- Résultat obtenu à partir du rapport des fréquences de précession neutron/mercure
- Première mesure avec des UCN

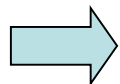
$$\rightarrow \left(\frac{2}{h}\right) \mu_n = \frac{\gamma_n}{2\pi} = 29.164705(55) \text{ MHz/T}$$

- Confirme la seule mesure de précision obtenue par Greene et Ramsey en 1979 à l'ILL.
- Prochaine étape: amélioration de la mesure du moment dipolaire électrique du neutron.

# Des neutrons piégés par le champ gravitationnel

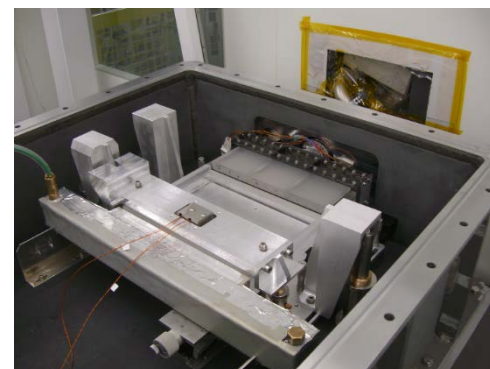


- **Système quantique unique:**
  - Un des rares systèmes où la gravitation peut être étudiée dans le cadre de la MQ
  - Dimensions macroscopiques  $\sim 10 \mu\text{m}$  / Énergie  $\sim \text{peV}$
- Première observation ILL en 2000 (V. Nesvizhevsky et al, Nature 2002)
- Forte sensibilité à des forces de portée micrométrique



Mesure de l'énergie des *transitions* entre niveaux  
(sensibilité x100 / premières expériences)

- Collaboration ILL (V. Nesvizhevsky)-LPSC + contributions ponctuelles labos russes et américains.
- Réception prototype source fin 2010
- 2011-2014: fiabilisation/amélioration source UCN et finalisation spectromètre

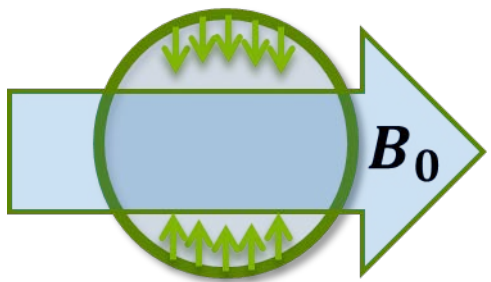


- Contributions techniques LPSC (F. Vezzu, coordinateur technique):
  - Infrastructure expérience (supports, bobines, vide...)
  - Conception spectromètre (chambre à vide, mécanique support miroirs...)
  - Conception/réalisation système transitions
  - Contrôle-commande
  - **Fiabilisation/amélioration source UCN**

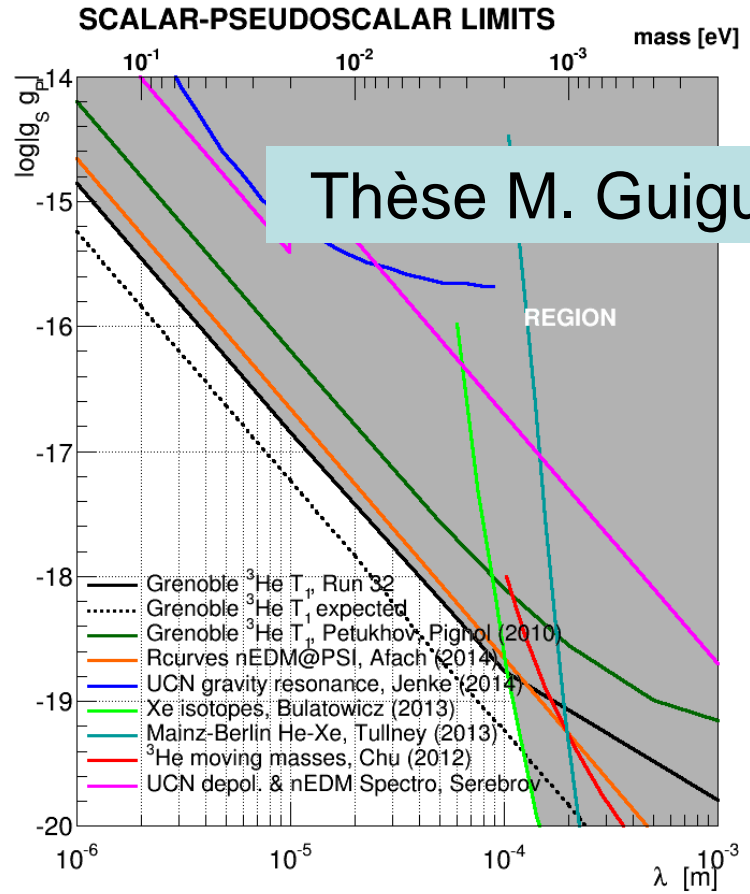


# Recherche générique de nouvelle force de portée sub-mm avec l'<sup>3</sup>He polarisé

- Collaboration avec ILL (S. Petukhov) et basée sur installation TYREX de production <sup>3</sup>He polarisé
- Financement ILL-UJF(AGIR)
- Principe:
  - Nouvelle force dépendant du spin = canal de dépolarisation supplémentaire
  - Longs temps de relaxation (T1 ~200 h) → grande sensibilité



Dispositif expérimental à l'ILL



Thèse M. Guigue

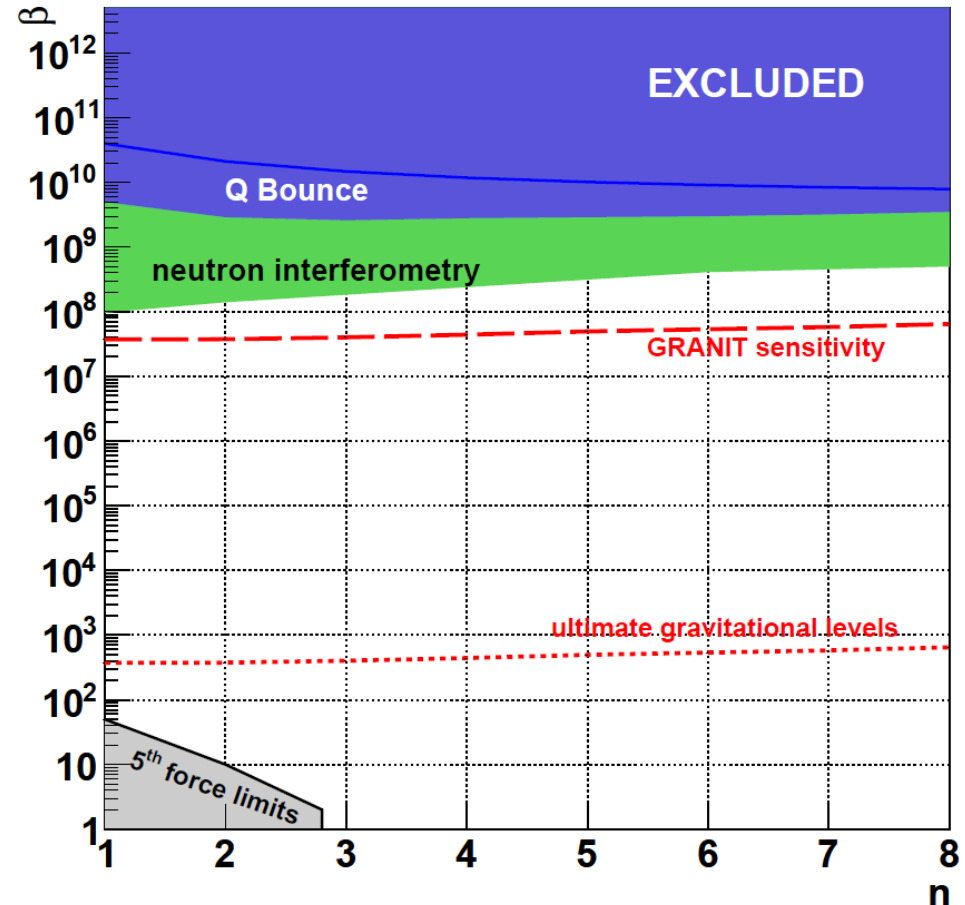
## The chameleon:

- dark energy candidate
- can be tested with neutrons:

$$V(z) = mgz + \beta \frac{m}{M_{Pl}} \varphi(z)$$

- 1) Squeezing of the wave functions
- 2) Dilatation of the energy spectrum

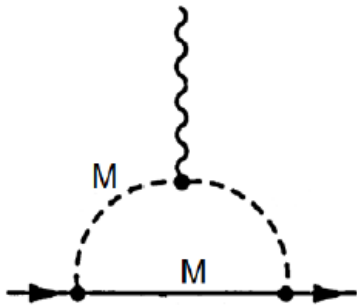
[Brax & Pignol PRL 107 (2011)]



- nEDM:
  - Prise de données avec spectro RAL-Sussex jusqu'à obtention d'une nouvelle limite.
  - Recentrage fort sur n2EDM à l'horizon 2020.
- GRANIT:
  - Poursuite de l'exploitation du spectromètre jusqu'à l'obtention de résultats de qualité.
  - Développement d'un détecteur UCN de position de résolution micrométrique (financement UJF) avec contribution du groupe plasma pour dépôts B.
- Premières discussions avec l'ILL autour de R&D cryogénique pour une future (ultime ?) génération d'expérience nEDM entièrement cryogénique (2025-2030).

- Points forts
  - Programme de physique riche et divers avec cohérence thématique
  - Synergie locale avec l'ILL (proximité = atout pour EC)
  - Fort soutien IN2P3 et UJF
  - Contribution n2EDM financée par ANR
  - Visibilité à 10 ans
- Difficultés
  - Rapport manpower/activités
  - Performances sources cryogéniques UCN

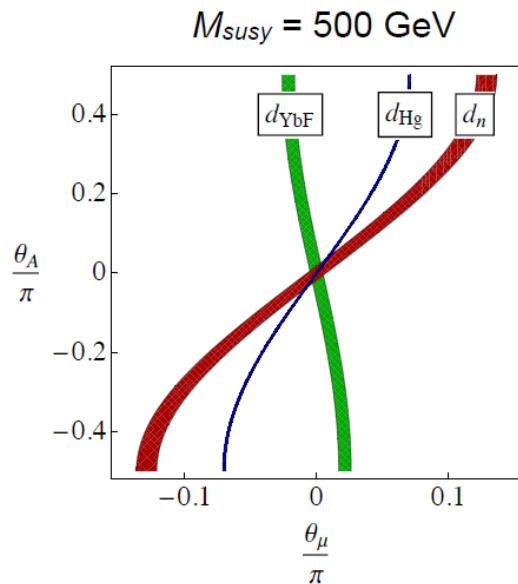
# A tool to search for BSM physics



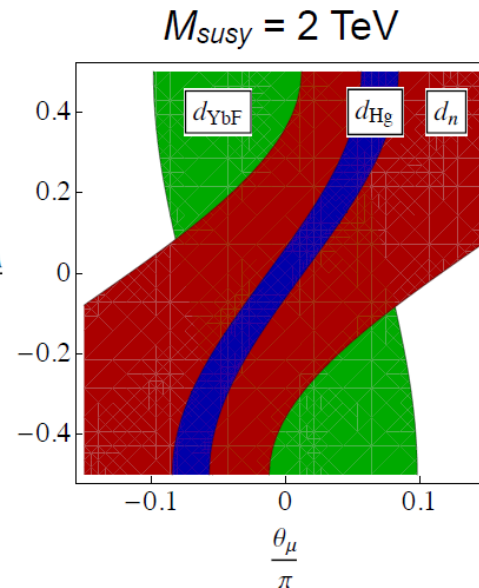
$$d_n \approx \left( \frac{300 \text{ GeV}}{M} \right)^2 \times \sin(\varphi_{CP}) \times 10^{-24} \text{ e.cm}$$

$M$ : new physics scale,  $\varphi_{CP}$ : generic new CPV phase

➡ nEDM sensitive to multi-TeV scale



1st gen squarks  
excluded by direct  
searches at  $\sim 1 \text{ TeV}$



Absence of SUSY signals at LHC relaxes the SUSY CP problem.

A. Ritz, talk at the PSI2013 workshop.

# Sketch of the PSI UCN source



UCN storage vessel  
~ 2 m<sup>3</sup>

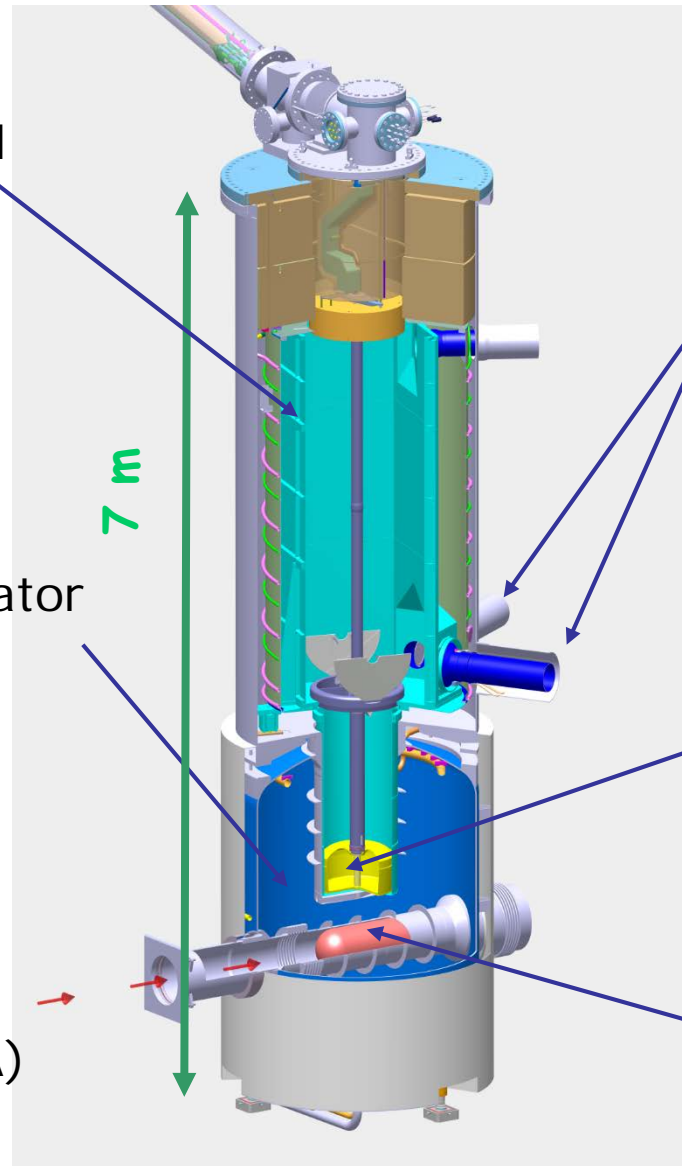
UCN guides towards  
experimental areas

Heavy water moderator  
→ thermal neutrons

Cold-UCN-converter  
~ 30 dm<sup>3</sup> solid D<sub>2</sub> at 5 K

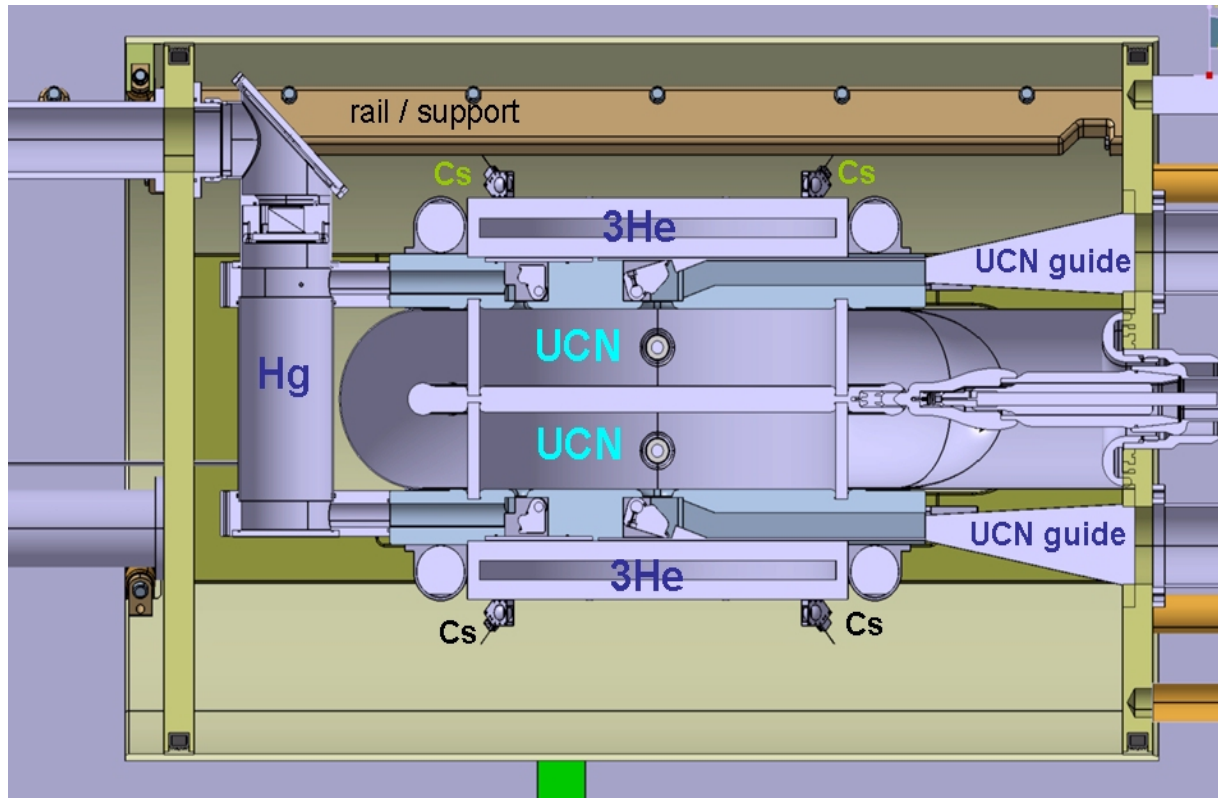
1.3 MW p-beam  
(600 MeV, 2.4 mA)

spallation target (Pb/Zr)  
(~ 8 neutrons/proton)



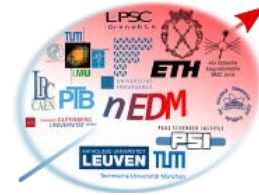
# The n2EDM project

Optimized room-temperature experiment with double chamber  
 → simultaneous measurement of parallel and anti-parallel config.



Control of field stability → control of gradient stability

# Expected statistical sensitivity



Parameter	Improvement factor	Comment
UCNs number N	5	Spectrometer – source height (x 3) Double precession chambers (x 1.5)
Electric field E	1.3	New electrodes geometry
Visibility $\alpha$	1.25	Larger T2 (field homogeneity)
Precession time T	?	Coating investigation (Diamond)
<b>Statistical sensitivity</b>	<b>8</b>	Based on the current source performances

Expected sensitivity/day :  $4 \times 10^{-26}$  e.cm

→ limit  $\sim 5 \times 10^{-27}$  e.cm after 4 years



# The chameleon mechanism

A way to reconcile  
gravity tests and cosmology

[Khoury & Weltman PRD 69 (2004)]

Standard massive Klein-Gordon field,  
Mediating a force with finite range  $\hbar c / M$

$$V_{KG}(\varphi) = M^2 \varphi^2$$

Quintessence field coupled with matter:

$$V_{eff}(\varphi) = V(\varphi) + \frac{\beta\rho}{M_{Pl}}\varphi$$

