

nEDM: Optimisation du comagnétomètre mercure.

Stéphanie Roccia

Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie

Décembre 2007



1 La mesure du moment électrique dipolaire du neutron

- L'EDM du neutron ?
- La mesure de l'EDM du neutron : principe

2 La comagnétie mercure

- Principe
- Modèle de la chambre de prépolarisation

1 La mesure du moment électrique dipolaire du neutron

- L'EDM du neutron ?
- La mesure de l'EDM du neutron : principe

2 La comagnétrie mercure

- Principe
- Modèle de la chambre de prépolarisation

- 1 La mesure du moment électrique dipolaire du neutron
 - L'EDM du neutron ?
 - La mesure de l'EDM du neutron : principe
- 2 La comagnétrie mercure
 - Principe
 - Modèle de la chambre de prépolarisation

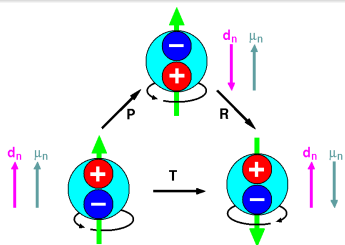
L'EDM du neutron ?

Un EDM (Electric Dipol Moment) est une séparation de charges.

$$\hat{H} = -\vec{\mu}_n \cdot \vec{B} - \vec{d}_n \cdot \vec{E}$$

Appliquons l'opération de renversement temporel à cet hamiltonien :

$$\hat{H} \xrightarrow{T} -\vec{\mu}_n \cdot \vec{B} + \vec{d}_n \cdot \vec{E} \neq \hat{H}$$



Appliquons l'opération de renversement de la parité à cet hamiltonien :

$$\hat{H} \xrightarrow{P} -\vec{\mu}_n \cdot \vec{B} + \vec{d}_n \cdot \vec{E} \neq \hat{H}$$



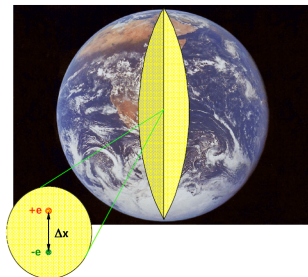
Un EDM non nul brise à la fois la symétrie P et T.

D'après le théorème CPT, la brisure de T implique la brisure de CP.



Recherche de la nouvelle physique

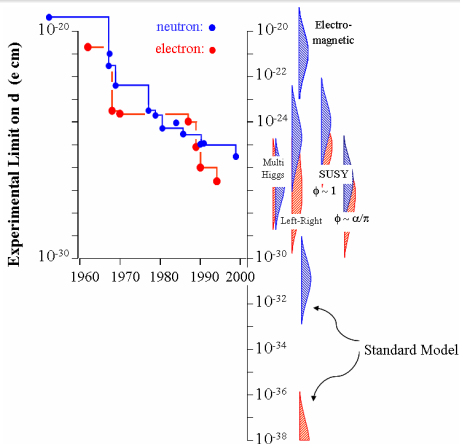
Si le neutron avait la taille de la Terre ...



... la limite actuelle correspondrait à une séparation de charges de $10 \mu\text{m}$!

$$d_n < 2.9 \cdot 10^{-26} \text{ e.cm (90\% C.L.)}$$

(RAL/SUSSEX)@ILL C. Baker & al.



Notre objectif : mettre une limite $\approx 5 \times 10^{-28} \text{ e.cm}$ pour contraindre les extensions du Modèle Standard.

1 La mesure du moment électrique dipolaire du neutron

- L'EDM du neutron ?
- La mesure de l'EDM du neutron : principe

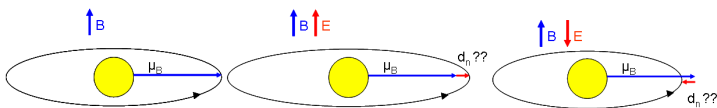
2 La comagnétrie mercure

- Principe
- Modèle de la chambre de prépolarisation

La mesure de l'EDM du neutron : principe

$$\hat{H} = -\vec{\mu}_n \cdot \vec{B} - \vec{d}_n \cdot \vec{E}$$

On mesure la fréquence de précession du neutron par la méthode des champs oscillants alternés de Ramsay.



$$h\nu_L = 2\mu_n B \quad h\nu_{(\uparrow\uparrow)} = 2(\mu_n B + d_n E) \quad h\nu_{(\uparrow\downarrow)} = 2(\mu_n B - d_n E)$$

La différence des deux dernières configurations ($\uparrow\uparrow - \uparrow\downarrow$) donne :

$$d_n = \frac{h\Delta\nu}{4E}$$

À condition que le champ magnétique soit constant, ce qui impose une **magnétométrie efficace**.

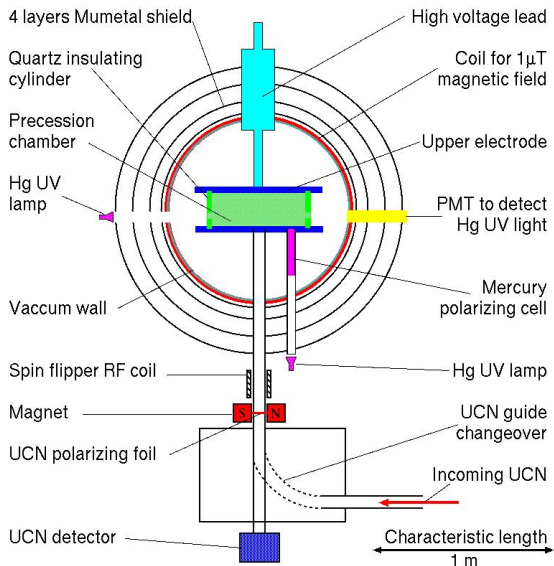
La mesure de l'EDM du neutron : principe

$$B = 1 \mu\text{T}$$

$$E = 1.6 \text{ MV.m}^{-1}$$

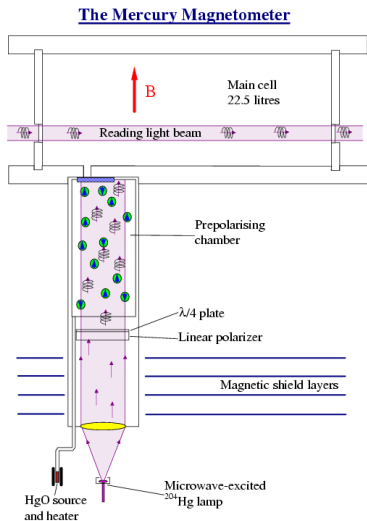
$$h\nu_L = \mu B = 6.10^{-14} \text{ eV}$$

$$h\nu_d = d_n E = 5.10^{-20} \text{ eV}$$

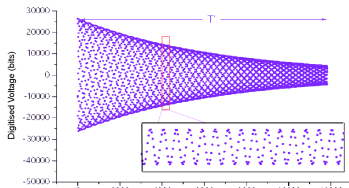


- 1 La mesure du moment électrique dipolaire du neutron
 - L'EDM du neutron ?
 - La mesure de l'EDM du neutron : principe
- 2 La comagnétrie mercure
 - Principe
 - Modèle de la chambre de prépolarisation

Dans la chambre de stockage :



- Le mercure polarisé précesse en phase.
- La transmission de la lumière d'analyse (polarisée) est modulée en fonction de la projection du spin du mercure (oscillation à 8 Hz).
- L'amplitude du signal diminue à cause de la dépolarisation.



La précision de la mesure du champ magnétique :

$$\sigma \approx \frac{1}{4T'} \frac{a_n}{a_s} \frac{1}{\sqrt{n}} (1 + \exp^{2T'/\tau})^{1/2}$$

La précision actuelle ≈ 100 fT!
Notre objectif : ≈ 10 fT

- T' le temps de stockage.
- $\frac{a_n}{a_s}$ l'inverse du rapport signal sur bruit.
- n le nombre de points de mesure.
- τ le temps de dépolarisation dans la chambre de stockage.

Nos moyens d'action :

- T' et τ : assez limité
- a_n : en cours d'étude
- $a_s \approx PI_0A(1 - A/2)$: l'objet de cette présentation

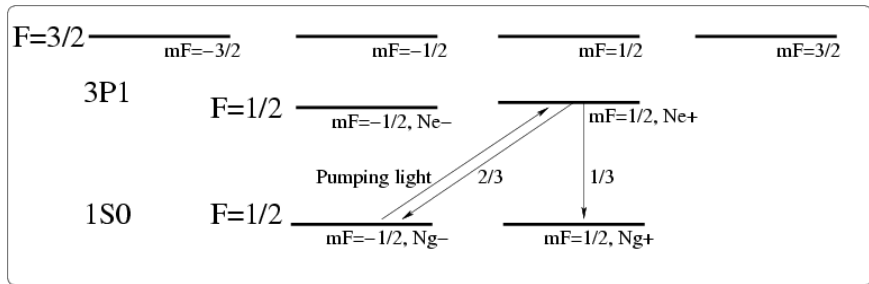
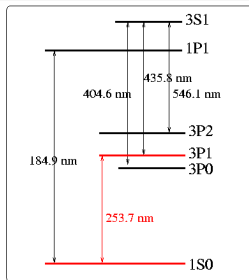
- 1 La mesure du moment électrique dipolaire du neutron
 - L'EDM du neutron ?
 - La mesure de l'EDM du neutron : principe
- 2 La comagnétie mercure
 - Principe
 - Modèle de la chambre de prépolarisation

Modèle de la chambre de prépolarisation :

Le pompage optique

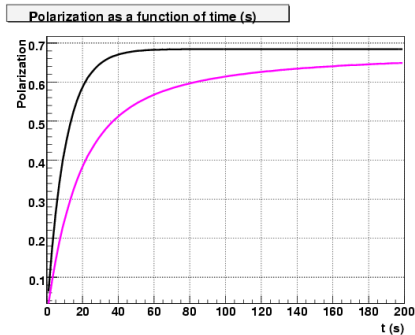
^{199}Hg :

State	J	I	F
1S_0	0	1/2	1/2
3P_1	1	1/2	3/2



Modèle de la chambre de prépolarisation : Dépolarisation

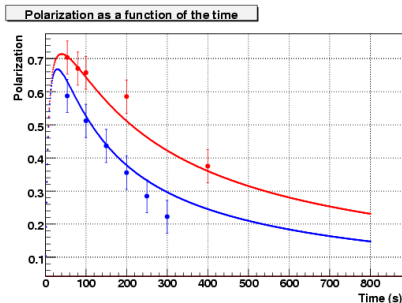
- Collisions sur les parois ($T_R \approx 97.3$ s)
- Les inhomogénéités du champ magnétique
- Les collisions Hg-Hg



- Absorption de la lumière réémise \rightarrow dépend du libre parcours moyen des photons dans la vapeur

Ces phénomènes peuvent se résumer dans un système de 4 équations différentielles couplées résolu par intégration numérique.

Modèle de la chambre de prépolarisation : résultats



Dans notre modèle, la densité de Hg augmente linéairement avec le temps. La figure montre les résultats pour deux taux de production différents :

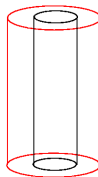
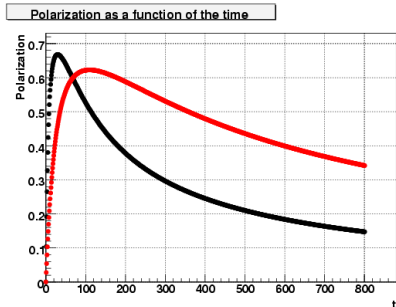
$$6 \times 10^{11} \text{ Hg.s}^{-1}$$

$$1.1 \times 10^{12} \text{ Hg.s}^{-1}$$

Trois régimes :

- Aux temps courts, la polarisation augmente vite car le pompage optique est efficace.
- Pour $t \approx 50 - 100$ s, un équilibre apparaît entre le pompage et la dépolarisation.
- Aux temps longs (i.e. aux grandes densités), la dépolarisation radiative domine.

Utilisation du modèle pour optimiser la géométrie.



Conclusion : On peut gagner un facteur ≈ 2 sur l'amplitude du signal en optimisant la géométrie de la chambre de polarisation.

$$\Rightarrow \sigma_B \approx 50 \text{ fT}$$