

Forca-G : un interféromètre à atomes piégés pour une mesure de force à faible distance

Experiment:

Adèle HILICO, Cyrille SOLARO, Matthias LOPEZ, *Min-kang ZHOU*, Bruno PELLE, Gunnar TACKMANN and Franck PEREIRA DOS SANTOS*

Theory:

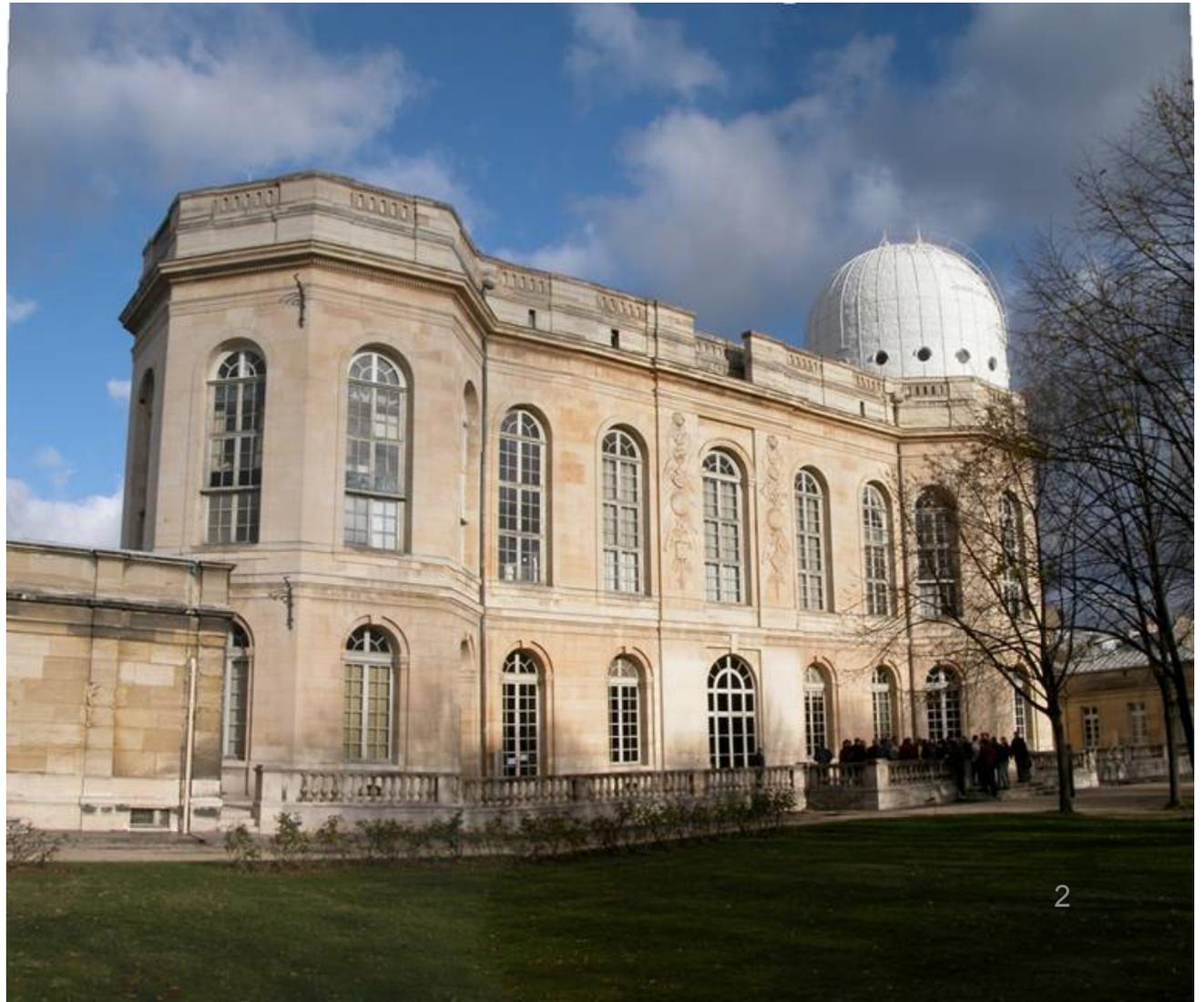
Sophie PELISSON, Riccardo MESSINA, Marie-Christine ANGONIN and Peter WOLF

LNE-SYRTE, Observatoire de Paris, UMR8630, CNRS, Paris, FRANCE

Forca-G : un interféromètre à atomes piégés pour une mesure de force à faible distance

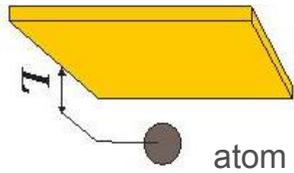
Observatoire de Paris :
Laboratoire LNE-SYRTE

- référence de temps
- horloges optiques
- capteurs inertiels
 - gyromètre
 - gravimètre
 - FORCA-G



Projet Forca-G

Mesures des forces existantes entre des atomes et une surface

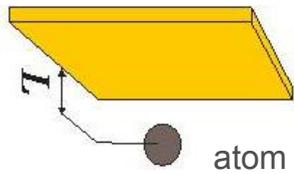


L entre 0.3 et 10 μ m

Outil de mesure : interférométrie atomique

Projet Forca-G

Mesures des forces existantes entre des atomes et une surface



L entre 0.3 et 10 μ m

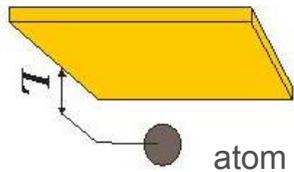
Les atomes sont sensibles à :
- Potentiel gravitationnel terrestre

$$\Delta U = \Delta U_{\text{grav}}$$

$$U_{\text{Grav}} = m \cdot g \cdot z$$

Projet Forca-G

Mesures des forces existantes entre des atomes et une surface



L entre 0.3 et 10 μm

Les atomes sont sensibles à :

- Potentiel gravitationnel terrestre
- Potentiel de Casimir-Polder

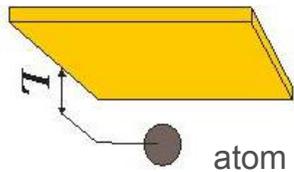
$$\Delta U = \Delta U_{\text{grav}} + \Delta U_{\text{CP}}$$

$$U_{\text{Grav}} = m \cdot g \cdot z$$

$$U_{\text{CP}} = \frac{3hc\alpha_0}{8\pi L^4}$$

Projet Forca-G

Mesures des forces existantes entre des atomes et une surface



L entre 0.3 et 10 μ m

Les atomes sont sensibles à :

- Potentiel gravitationnel terrestre
- Potentiel de Casimir-Polder
- Potentiel Newtonien entre les atomes et la surface

$$\Delta U = \Delta U_{\text{grav}} + \Delta U_{\text{CP}} + \Delta U_{\text{Newt}}$$

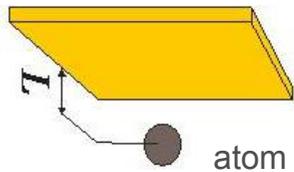
$$U_{\text{Grav}} = m \cdot g \cdot z$$

$$U_{\text{CP}} = \frac{3hc\alpha_0}{8\pi L^4}$$

$$U_{\text{Newt}} = \frac{GM_1M_2}{r}$$

Projet Forca-G

Mesures des forces existantes entre des atomes et une surface



L entre 0.3 et 10 μ m

Les atomes sont sensibles à :

- Potentiel gravitationnel terrestre
- Potentiel de Casimir-Polder
- Potentiel Newtonien entre les atomes et la surface
- Potentiel de Yukawa

$$\Delta U = \Delta U_{\text{grav}} + \Delta U_{\text{CP}} + \Delta U_{\text{Newt}} + \Delta U_{\text{Yuk}}$$

$$U_{\text{Grav}} = m \cdot g \cdot z$$

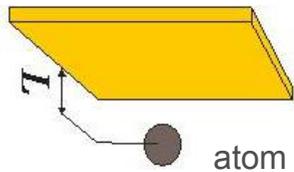
$$U_{\text{CP}} = \frac{3hc\alpha_0}{8\pi L^4}$$

$$U_{\text{Newt}} = \frac{GM_1M_2}{r}$$

$$U_{\text{Yuk}} = \frac{GM_1M_2}{r} \left(\alpha e^{-\frac{r}{\lambda}} \right)$$

Projet Forca-G

Mesures des forces existantes entre des atomes et une surface



L entre 0.3 et 10 μ m

Les atomes sont sensibles à :

- Potentiel gravitationnel terrestre

Potentiel prédominant : Potentiel de Casimir Polder

-Potentiel de Yukawa

$$\Delta U = \Delta U_{\text{grav}} + \Delta U_{\text{CP}} + \Delta U_{\text{Newt}} + \Delta U_{\text{Yuk}}$$

$$U_{\text{Grav}} = m \cdot g \cdot z$$

$$U_{\text{CP}} = \frac{3hc\alpha_0}{8\pi L^4}$$

$$U_{\text{Newt}} = \frac{GM_1M_2}{r}$$

$$U_{\text{Yuk}} = \frac{GM_1M_2}{r} \left(\alpha e^{-\frac{r}{\lambda}} \right)$$

Casimir Polder

Prédit en 1948 par H.G.B. Casimir and D. Polder, Phys. Rev. **73**, 360 (1948)

Force provenant de l'interaction entre
le dipôle atomique et les modes de champ du vide

$$U_{\text{CP}} = \frac{3hc\alpha_0}{8\pi L^4}$$

Incertitude ~6%
Notre but : 1%

La force de Casimir Polder est calculable !

⇒ **Comparaison mesure /calcul**

Mesures précédentes réalisées à l'aide d'atomes :

A. Landragin et al., Phys. Rev. Lett. 77, 1464 (1996) D.M. Harber & al, Phys Rev A 72,033610 (2005)

F. Shimizu, Phys. Rev. Lett. 86, 987 (2001)

H. Bender et al., Phys. Rev. Lett. 104, 083201 (2010)

Intérêt

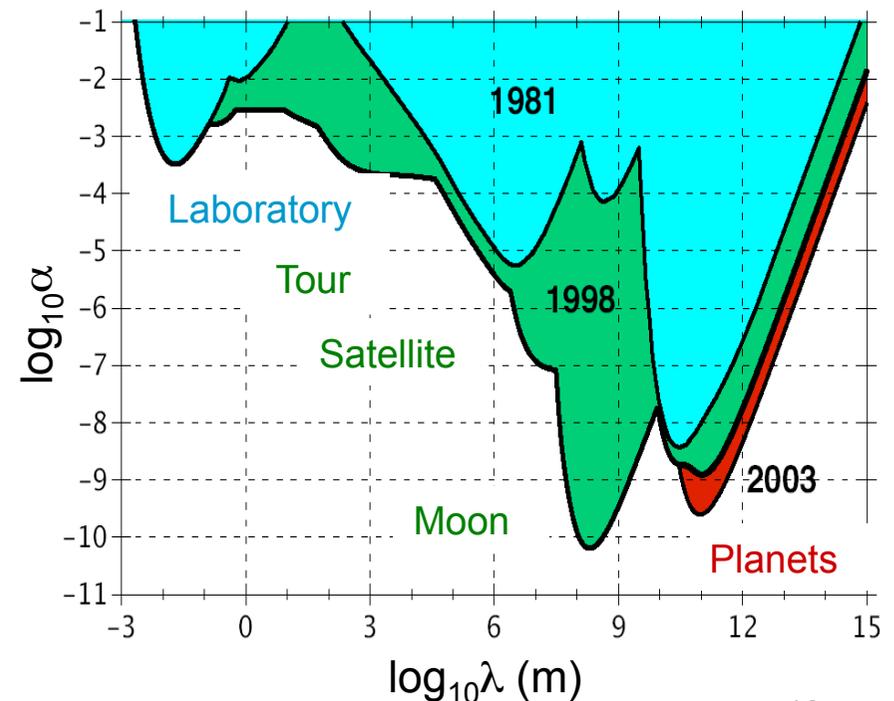
Nouvelle manière de mesurer la force de Casimir Polder
Current uncertainty ~6%
Our aim : less than 1%

$$U_{CP} = \frac{3hc\alpha_0}{8\pi L^4}$$

Comparaison mesure et calcul (collaboration avec le LKB)

Test of short range gravity :

$$U_{Yuk} = \frac{GM_1M_2}{r} \left(\alpha e^{-\frac{r}{\lambda}} \right)$$



E. Fischbach, R. Hellings, & al. (2003)

Intérêt

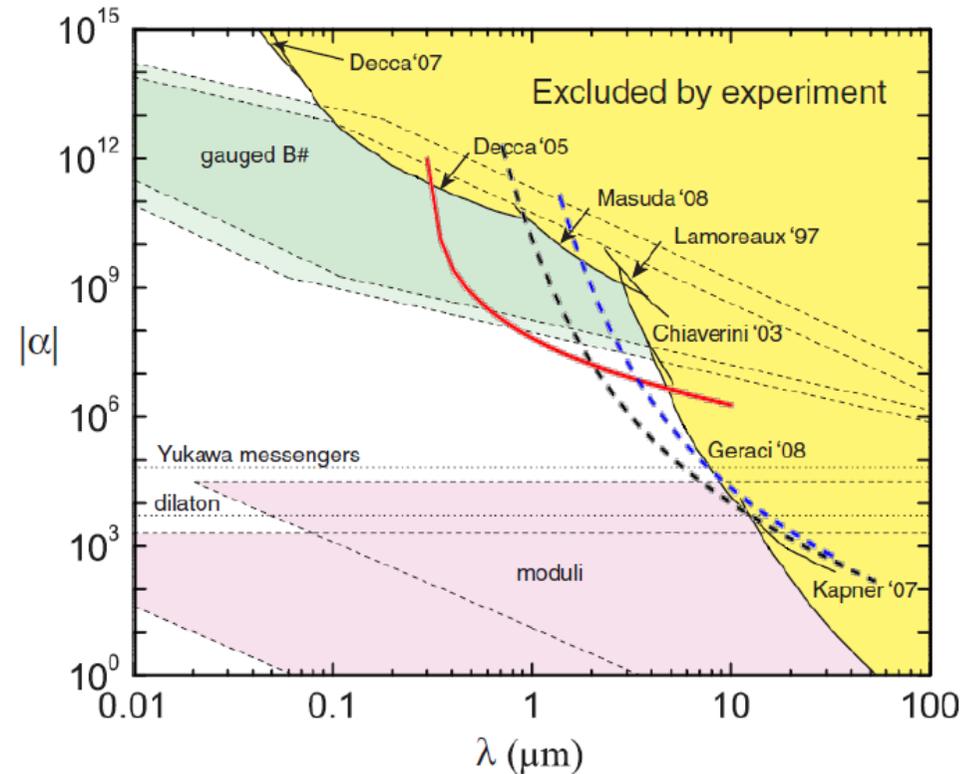
Nouvelle manière de mesurer la force de Casimir Polder
 Current uncertainty ~6%
 Our aim : less than 1%

$$U_{CP} = \frac{3hc\alpha_0}{8\pi L^4}$$

Comparaison mesure et calcul
 (collaboration avec le LKB)

Test of short range gravity :

$$U_{Yuk} = \frac{GM_1M_2}{r} \left(\alpha e^{-\frac{r}{\lambda}} \right)$$



R. Messina, S. Pélisson, M.-C. Angonin, and
 P. Wolf, PRA 83, 052111 (2011) 11

Principe

Placer et piéger les atomes près de la surface:

~réseau optique en 1D

Réseau désaccordé dans le bleu

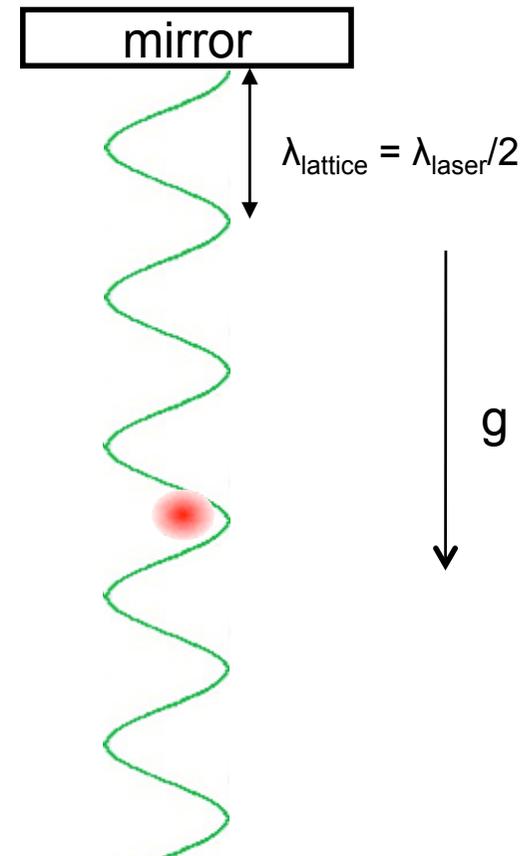
⇒ Contrôle de la distance atomes-surface

⇒ Surface = miroir de réflexion de l'onde stationnaire

Mesure précise:

~interférométrie atomique

Séparation cohérente des paquets d'onde atomiques dans deux puits distincts



Principe

Placer et piéger les atomes près de la surface:

~réseau optique en 1D

Réseau désaccordé dans le bleu

⇒ Contrôle de la distance atomes-surface

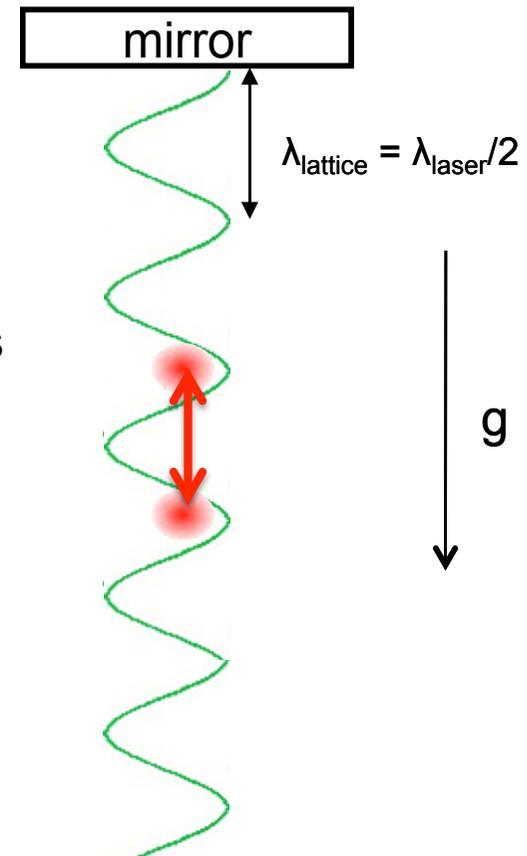
⇒ Surface = miroir de réflexion de l'onde stationnaire

Mesure précise:

~interférométrie atomique

-Séparation cohérente des paquets d'onde atomiques dans deux puits distincts

-La phase des paquets d'onde évolue différemment en fonction de la différence des niveaux d'énergie des atomes.



Principe

Placer et piéger les atomes près de la surface:

~réseau optique en 1D

Réseau désaccordé dans le bleu

⇒ Contrôle de la distance atomes-surface

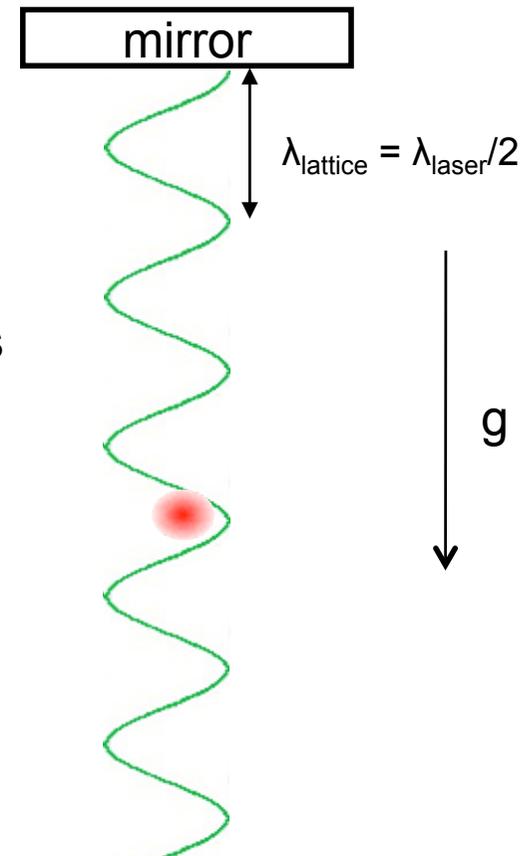
⇒ Surface = miroir de réflexion de l'onde stationnaire

Mesure précise:

~interférométrie atomique

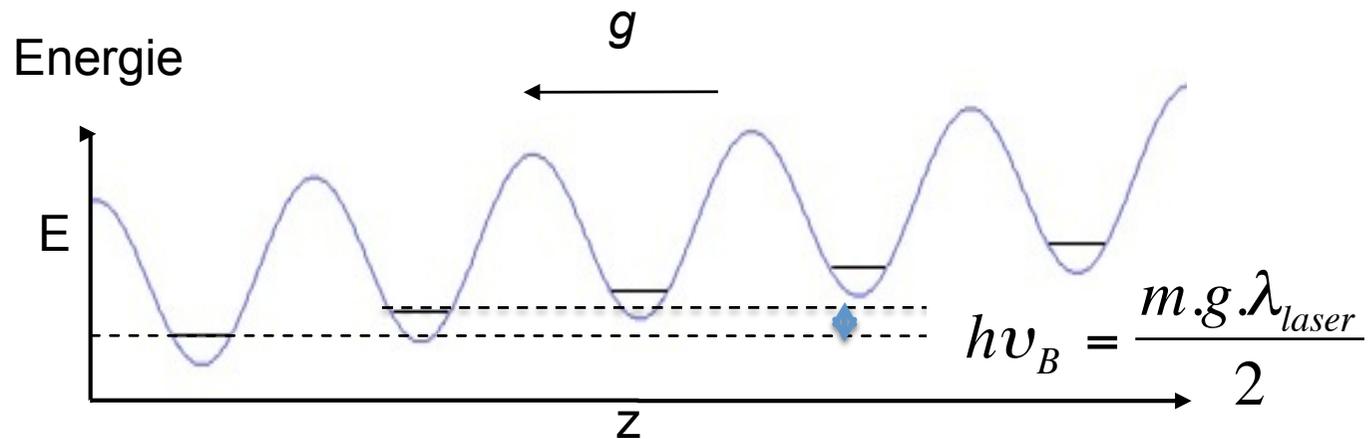
-Séparation cohérente des paquets d'onde atomiques dans deux puits distincts

-La phase des paquets d'onde évolue différemment en fonction de la différence des niveaux d'énergie des atomes.



Résultats

Pour les premiers tests, les atomes sont loin de la surface :



Pour transférer les atomes d'un puits à l'autre

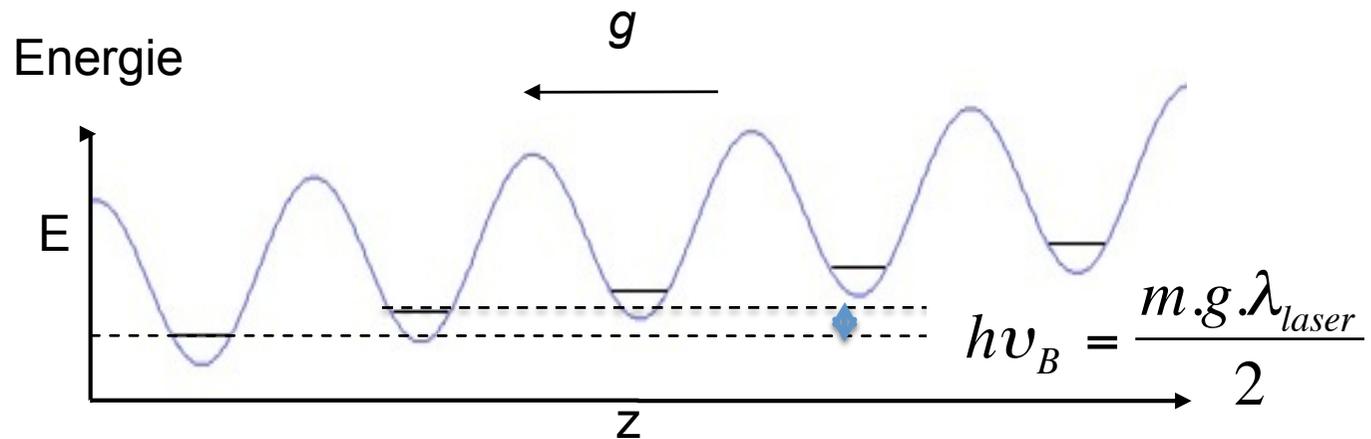
⇒ faisceaux laser

⇒ Fréquence des lasers doivent être accordés avec les transitions atomiques

⇒ mesure de ν_B

Résultats

Pour les premiers tests, les atomes sont loin de la surface :



Sensibilité court terme : $\frac{\sigma_{\nu_B}}{\nu_B} = \frac{\sigma_g}{g} = 5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{Hz}$

Conclusion

Travail en cours :

- Augmenter la densité atomique
- Placer les atomes près de la surface

Notre sensibilité nous permettrait d'atteindre une incertitude sur la mesure de la force de Casimir Polder de moins de 1% en 30 s de mesures