超冷中性子を用いた 弱い等価原理の検証実験の ためのシミュレーション

> **水原慎一**, 内田健太, 神谷好郎^A, **稲田聡明^A, 浅井祥仁, 駒宮幸男^B** 東大理, 東大素セ^A, 早大理工総研^B

日本物理学会2020秋季大会 16pSE-10@筑波大学(オンライン) 2020/9/16

古典論における弱い等価原理(WEP)

~WEP(Weak Equivalence Principle)~ <u>自由落下の普遍性(UFF)</u> 「自由落下の軌道は物体の種類に依らない」 →「慣性質量m_iと重力質量m_aに対しm_i=m_a」



- GRの基本原理(相対性原理,等価原理,一般共変性原理,因果律)の うちの一つに含まれる
- •実験による検証精度は10⁻¹⁴程度まであり非常に良い

量子論における弱い等価原理(WEP)

~量子論でのWEP~
重力場中のSchrödinger方程式において
Sch. eq.
$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \left[-\frac{\hbar^2}{2m_i} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + m_g g z \right] \psi$$

 $m_i = m_g$ が成立する。(慣性質量 m_i ,重力質量 m_g)

- •古典論との差異: WEPを仮定しても質量に依存
- 実験による検証精度は10⁻³程度しかない
- ・過去の検証では m_i の値はPDGの値と仮定

m_i の値を仮定せずに、 10^{-3} の精度で 量子論における $WEP(m_i = m_g)$ 検証を目指す

重

力

加

速

度

g



 $m_i \ge m_a$ 同時に測定するには?



m_i, *m_g*同時測定による量子論におけるWEP検証実験を
10⁻³の精度で行うことを目指し、
地球重力場中に束縛されたUCNの
空間・時間的分布を世界で初めて同時測定する。



UCN空間分布に加え時間発展を見る。



実験のセットアップ



- Guide中でUCNの低エネルギー状態のみ選別
- 時間情報:Chopperと検出器の時間差
- $\Rightarrow |\psi(z,t)|^2$ の時間発展情報

検出器開発

●我々は時間分解能 msオーダーかつ、

空間分解能 μmオーダーの中性子検出器の開発をしている。

● SOI(Silicon On Insulator)を用いたCMOS検出器¹⁰B-INTPIX4





Fig. 7. (a) Image of the all area of the sensor (density of dots is reduced for visualization). Edges of the B_4C slits and shadow of the fine neutron mask are observed. (b) Profile of an accumulated edge shadow. It is made by superimposing the all edge shadows of the neutron mask. Spatial resolution is evaluated to be $4.1 \pm 0.2 \mu m$, by fitting with an error function.

シミュレーション



- 段差前で基底状態のみ存在していると仮定
- 段差の高さ20 μ m、距離L = 1 m, l = 20 cm
- 中性子統計数 105
- 検出器の空間・時間分解能も考慮
- •まずは簡単のため m_i の値としてPDGの値を仮定





WEPの推定と実際の分布のずれ

- ・擬似乱数でUCNsの観測分布を生成
- ^{*mg*}/_{*m_i*}をWEPのパラメータとして最尤法(binned maximum likelihood)でFit



まとめ

【実験】

「<u>慣性質量の仮定なし</u>に量子論における<u>弱い等価原理</u>を UCNを用いて10⁻³の精度を目指して検証するため、 地球重力場中に束縛された<u>UCNの</u> 空間・時間的分布を世界で初めて同時測定する」

【シミュレーションの結果】

10⁻³の精度の議論ができるような系であることがわかった

現在、UCNポートの最適化と整備についての議論を進めている