

O-31

 **$\mu$ -原子における Lamb シフト**

荷電半径より

Lamb shift in muonic atom

By charge radius

○柴崎陽一<sup>1</sup>, 藤田丈久<sup>2</sup>\*Youichi Shibasaki<sup>1</sup>, Takehisa Fujita<sup>2</sup>

Abstract: In this presentation, we discuss Lamb shift of muonic atom, and provide an overview of the calculation of the Lamb shift in the hydrogen atom. Here we will continue to consider the Lamb shift of 2s state of muonic atom. We describe the calculation of the Lamb shift and an overview of the measurement of the Lamb shift in the state 2s.

1.  $\mu$ -原子の説明

$\mu$ -原子の説明に入る前に,まずは $\mu$ -粒子(またはミューオン)について説明する.

$\mu$ -粒子は電気素量に等しい負の電荷と 1/2 のスピン,そして,静止質量として電子の静止質量である  $0.511 \text{ MeV}/c^2$  の約 206.7 倍の重さである  $105.6 \text{ MeV}/c^2$  を持ち,平均寿命は  $2.2 \cdot 10^{-6}$  秒である.

そして,この $\mu$ -粒子が原子核に束縛された状態,つまり,原子核の周り回る周回軌道に入った状態を $\mu$ -原子,または,ミュオン原子という.

この構造は水素原子の電子が $\mu$ -粒子に置き換わった状態ともいえる.そして, $\mu$ -粒子は先ほど記したとおりに電子の約 206.7 倍の重さがあるので, $\mu$ -粒子の軌道半径はボーア半径の式より約  $1/206.7$  になる.

また補足として,ミュオニウムというものもある. $\mu$ -粒子には正の電荷を持った正 $\mu$ -粒子といったものがあり,電子と出会った場合にはその電子は $\mu$ -粒子の周りを回る軌道に入る.この状態は水素原子の陽子の部分が $\mu$ -粒子に置き換わったような状態ともいえ,このような正の電荷を持った $\mu$ -粒子と電子の束縛状態をミュオニウムという.ミュオニウムについての Lamb シフト実験は今回取り扱われている実験よりも前に行われている.

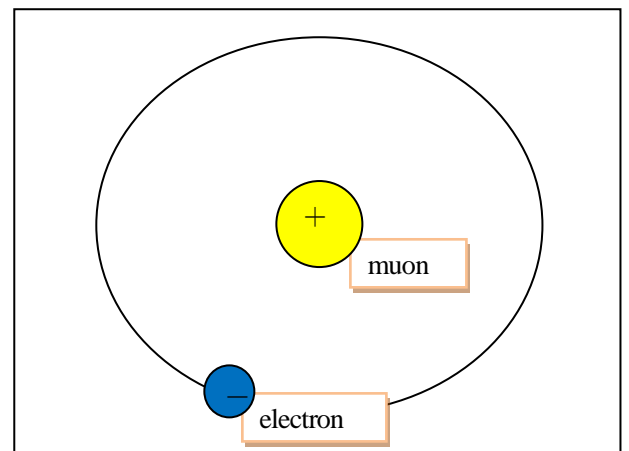


Figure1.muonic atom

## 2. Lamb シフトについて

Lamb シフトは原子中の電子のエネルギー準位が Dirac 方程式の平均値からずれる現象である.この時のエネルギー準位の差を Lamb シフトエネルギーと言う.水素原子の 2S-2P 間での Lamb シフトエネルギーは計算がなされており,そのエネルギーは 1057 MHz となり,実験とも整合してる.

また,この Lamb シフトの計算に用いられるカットオフは電子の質量に依存する項があるため, $\mu$ -原子の Lamb シフトエネルギーを正確に測定する事で,そこから逆に $\mu$ -粒子の質量や $\mu$ -原子のボーア半径の情報も得る事も出来る.

3.  $\mu$ -原子の Lamb シフト

$\mu$ -原子の Lamb シフトの実験として,スイスのポールシェラー研究所で行われた $\mu$ -原子の 2s 状態での lamb シフトをレーザー分光法で測定する実験の概要について説明する.ここでは,実験については Lamb シフトの測定について必要な部分だけを抜粋して説明していく事にする.

$\mu$ -粒子ビームを  $0.6 \text{ hPa}$  の水素ガスの中に入射すると,非常に励起された $\mu$ -原子が形成され,それらの約 99% が 100 ns 以内に  $2 \text{ keV}$  の x 線を放出しながら基底状態である 1S 状態に脱励起される.だが,約 1% の確立で約 1.3 s の寿命を持って

1 : 日大理工・院 (前)・物理 2 : 日大理工・教員・物理

2S 状態で停止する  $\mu$ -原子がいる..

そこで,その約 1.3 s の寿命を持つ 2S 状態にある  $\mu$ -原子に短いレーザーパルスを共振させる事で,2S 状態から 2P 状態への遷移を誘発させる.この時に,2P 状態に励起された  $\mu$ -原子はすぐに減衰し,1.9 keV  $K_{\alpha}$  x 線を放出して基底状態に脱励起される.

この時の,短いレーザーパルスを測定する事で,  $\mu$ -原子の 2S-2P 間での Lamb シフトエネルギーを決定する事が出来るものと考えられている.

しかし実際には,予想される陽子半径の理論値に対応するレーザー周波数の範囲では有意な 2S-2P 共鳴を観察する事ができなかった.

#### 4. 研究課題

この研究においては,どうして実験結果と理論値が合わなかったのか, $\mu$ -原子の Lamb シフトの計算について考察をして,まとめようとかんがえている.

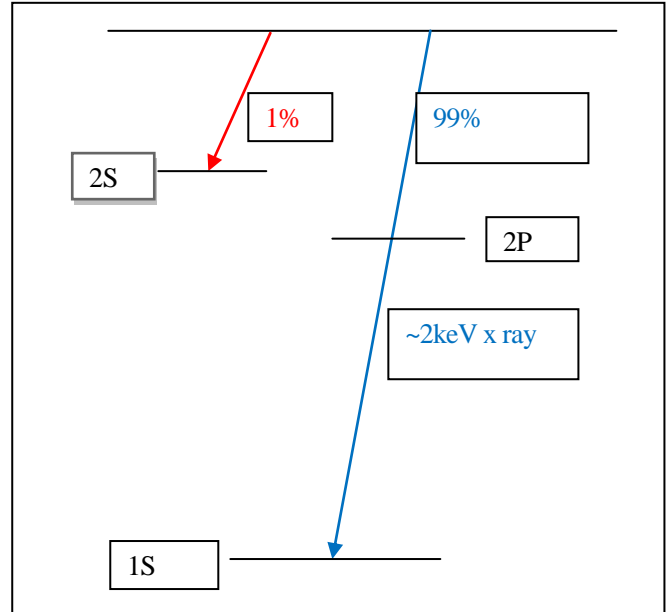


Figure2. A very simple sketch of the muon cascade

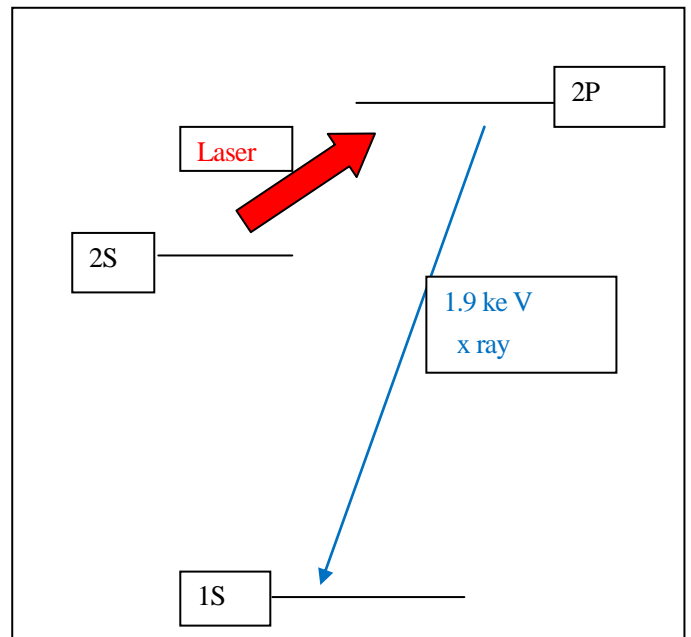


Figure3. Basic idea of this Lamb shift experiment

#### 5. 参考文献

- [1]Takehisa Fujita 「Symmetry and itsBreaking in Quantum Field Theory」, Nova Science Publishers,305p,Inc2006
- [2] Aldo Sady Antognini 「The Lamb Shift Experiment in Muonic Hydrogen」, Dissertation,202p,Inc2005