

ミューオニック水素の陽子半径と陽子の静止質量は一貫している

## The proton radius in muonic hydrogen and the rest mass of proton are consistent.

Hyama Natural Science Research Institute, Tokyo, Japan  
E-mail: [s\\_hyama@yahoo.co.jp](mailto:s_hyama@yahoo.co.jp) Submitted on 4 April 2015 (v1)

### ABSTRACT

The charged radius ( $r$ ) of Fermion closes at 1/2 spin from the Compton wavelength [ $\lambda = h/mc = (1/2)\pi r$ ] of Photon (Boson). These 1/2 spin means having the axiality to space-time. "The proton radius 0.841 (fm) was calculated from the proton mass" and "The proton radius obtained by measuring the Lamb shift in muonic hydrogen" are consistent.

Key words: charged, fermion, compton wavelength, boson, spin, axiality, space-time, mass, lamp shift.

### INTRODUCTION

陽子半径問題の根源にあるのは、電子が大きさをもち自転しているのかというフェルミ量子に共通するスピン問題と同じところにあるのではないか？

陽子半径パズルとは？ (Proton radius puzzle)

ミューオニック水素による陽子半径は通説より4%小さいと示す実験結果 0.8768 (fm)<sup>[1]</sup> ⇒ 0.84185 (fm)<sup>[2]</sup>がでた。また追試により同様の実験結果 0.84087 (fm)<sup>[3]</sup>が出ている。ミューオンは非常に重いため、陽子のすぐそばを周回する。つまり、陽子のサイズの影響を受けやすくなり電子水素より精密に陽子の荷電半径を測定できる。ミュー粒子は質量が電子の約200倍大きい以外は電子と瓜二つの素粒子だ。ミュー粒子にまつわる実験に表れたズレや矛盾の背後には、現在の素粒子物理学の枠組みである「標準モデル」では説明がつかない物理現象が潜んでいる可能性がある。

電子の大きさとスピンとは？ (Electron size and spin)

また、ナトリウムのスペクトルを観測する実験で、磁場においた D 線が 2 本に分裂することが発見され(ゼーマン効果)、これは電子がいまだ知られていない 2 値の量子自由度があるためと考え、1925 年にウーレンベックとゴーズミットは、電子は原子核の周りを公転する軌道角運動量の他に、電子が質点ではなく大きさをもち、かつ電子自身が自転しているのではないか、という仮説をたてた<sup>[3][4]</sup>。この仮定では、その自転の角運動量の大きさが  $\hbar/2$  であると、自転の回転方向が異なるため、公転に伴う角運動量との相互作用でエネルギー準位が 2 つに分裂したと考えると実験の結果をうまく説明できた。そしてこの自由度を電子の

スピン角運動量と呼んだ。

ただし、実際にこの仮定通りスピン角運動量が電子の自転に由来していると考え、電子が大きさを持ち、かつ光速を超える速度で自転していなければならないことになり、これは [特殊相対論](#) と矛盾してしまう。そのため、1925年に [ラルフ・クローニッヒ](#) (英語版) によって提案されたものの、[パウリ](#) によって否定されていた。パウリは、自転そのものを考えなければならない古典的な描像を捨て、一般の角運動量  $\hbar\mathbf{J}$  の固有値として半整数の値が許されることに注目し、この半整数の固有値をスピン角運動量とした<sup>[5]</sup>。

標準理論では電子を大きさ 0 の質点として扱っているが、電子に内部構造があるか(スピン角運動量などの内部自由度に起源があるか)はわかっていない。<sup>4</sup>

## METHODS

コンプトン波長と荷電半径の関係 (The Compton wavelength and charge radius of the relationship)

陽子の静止質量 ( $M_p : 1.67262178E-27$  kg) から陽子のコンプトン波長は、

$$\lambda_p = h/(m_p c) \doteq 1.321 \text{ (fm)}. \quad (1)$$

ミューオン水素の陽子半径 ( $\mu_p \doteq 0.841$  fm) とコンプトン波長の比は、

$$\lambda_p/\mu_p = \pi/2 \doteq 1.571. \quad (2)$$

以上から量子の荷電半径の式を仮定できる。

$$r_x = 2\lambda_x/\pi = 2h/(\pi m_x c) \text{ (m)}. \quad (3)$$

重力ポテンシャルと湯川ポテンシャルの結合 (Coupling of gravitational potential and Yukawa potential)

湯川ポテンシャル (ゆかわポテンシャル, Yukawa potential) は中心力ポテンシャルである。<sup>[6]</sup>

$$\alpha \frac{1}{r} e^{-r/\kappa} \quad (4)$$

$\kappa$  に  $1/\kappa = 1/r_x$  がポテンシャルの (実効的な) 到達距離に相当する量、 $\alpha$  の係数に量子の質量、 $r$  にポテンシャル中心からの動径座標、を当てはめると線密度 (kg/m) という単位になる。量子はその質量により短距離で閉じてニュートン重力によりメートルオーダーでその質量になる。

$$\frac{(-2G)M_x}{r} \left(1 - e^{-\frac{\pi r}{(2)\lambda_x}}\right) \quad (5)$$

またプランク質量はコンプトン波長を $\pi$ で割ったものとシュヴァルツシルト半径が一致する質量である。その長さはプランク長である。<sup>6)</sup>

$$l_p = \lambda/\pi = 2GM/c^2 \quad (6)$$

この万有引力定数を結合した  $G_x$  により閉じる半径と荷電半径が一致すると仮定する。

$$r_x = (2)\lambda_x/\pi = l_x = (2)G_x M_x/c^2 \quad (7)$$

## RESULTS AND DISCUSSION

基底状態の水素原子の微細構造 (Fine structure of the hydrogen atom in the ground state)

電子のスピ角運動量が古典的な半径であれば超光速で自転していなければならないことになり、パウリは自転そのものを考えなければならない古典的な描像を捨てた。しかし量子である陽子や電子(ミュオン粒子)の半径を決めているのは量子の波動性であり、古典的な半径(粒子性)は量子論ではない。量子の波動性が粒子性の進行方向に閉じて軸性(1/2)を持つフェルミオンであることを考慮すると自然に出てくるのが陽子の荷電半径  $r_p$  であり、これはミュオンニック水素の実験結果である陽子の荷電半径  $\mu_p$  と一致する。

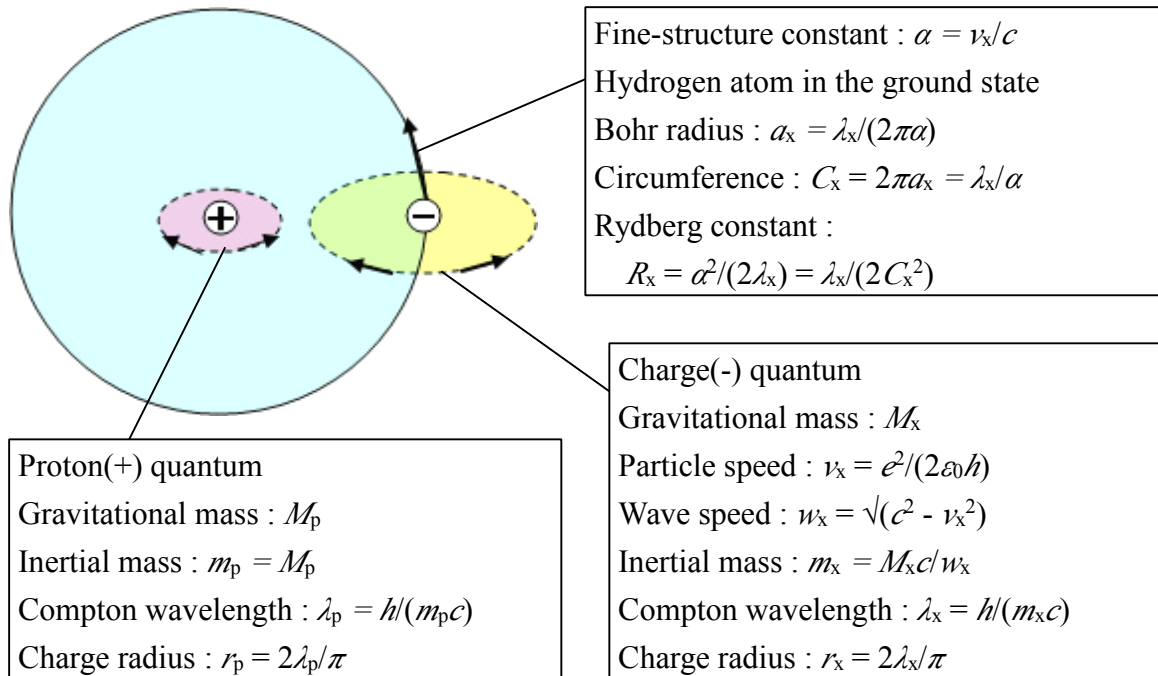


図1は、自転する陽子(+Red)と荷電(-Yellow)量子の重心が陽子の周りを公転する基底状態の水素原子(Blue)の模型である。

単独で陽子や電子やミュオン粒子の粒子速度や荷電半径は決まっている。電子水素とミュ-

オン水素の違いで変化するのはボーア半径やリュードベリ定数である。

Constant			
Fine-structure constant : $\alpha$	1.37035998E+0 2		
Planck constant : $h$ ( $m^2kg^{-1}s^{-1}$ )	6.62606957E-34		
Speed of light : $c$ (m/s)	2.99792458E+0 8		
Charge(-) particle speed : $v_x$ (m)	2.18769128E+0 6		
Quantum	Proton	Electron	Muon
Gravitational mass : $M_x$ (kg)	1.67262178E-27	9.10938291E-31	1.88353139E-28
Inertial mass : $m_x$ (kg)	1.67262178E-27	9.10962546E-31	1.88358155E-28
Compton wavelength : $\lambda_x$ (m)	1.32140985E-15	2.42624563E-12	1.17341291E-14
Wave radius : $r_x$ (m)	8.41235640E-16	1.54459594E-12	7.47017859E-15
Hydrogen atom radius : $a_x$ (m)		5.29163117E-11	2.55920845E-13
Hydrogen atom Circumference : $C_x$ (m)		3.32482992E-10	1.60799809E-12
Rydberg constant : $R_x$ ( $m^{-1}$ )		1.09740239E+0 7	2.26908000E+0 9

表 1 は、図 1 に登場する物理定数と単独量子の各値(Blue)、陽子(+)と荷電量子(-)の組み合わせにより決まる水素原子の大きさ等 (Red)である。

#### 線密度と重力ポテンシャル (Linear density and gravitational potential)

フェルミ量子はその質量の大きさに反比例して荷電半径が違うだけである。閉じた後は普通のニュートンポテンシャルと同じように物質密度を減らし、メートルオーダーで一般に知られている質量の線密度になる。したがって逆二乗則はマイクロにおいても数学的に正確に働きその仕組みが真空にあるので、荷電半径でエネルギーが閉じて、重力によってその影響が広がっていると考えられる。

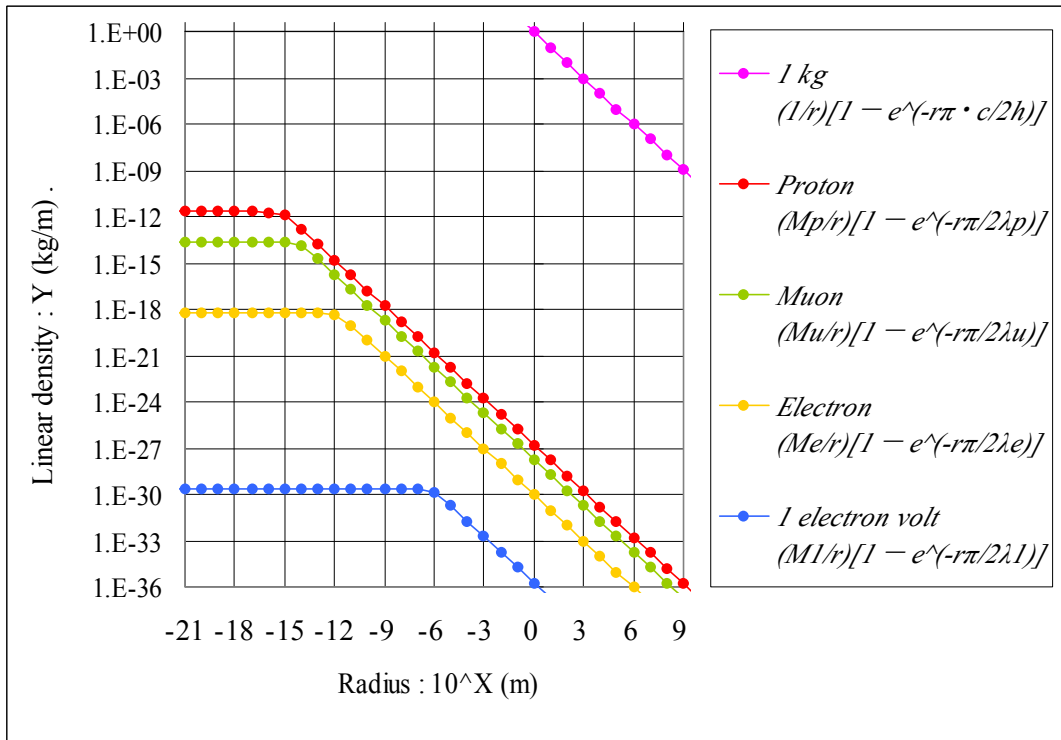


図 2 は、各フェルミ量子がメートルオーダーにおける線密度の大きさに反比例して荷電半径で閉じた後は普通のニュートン重力と同じように表面積が広がるに従って物質密度を減らす様子である。1kg の質量の物体の線密度(Pink)は比較のための参考である。

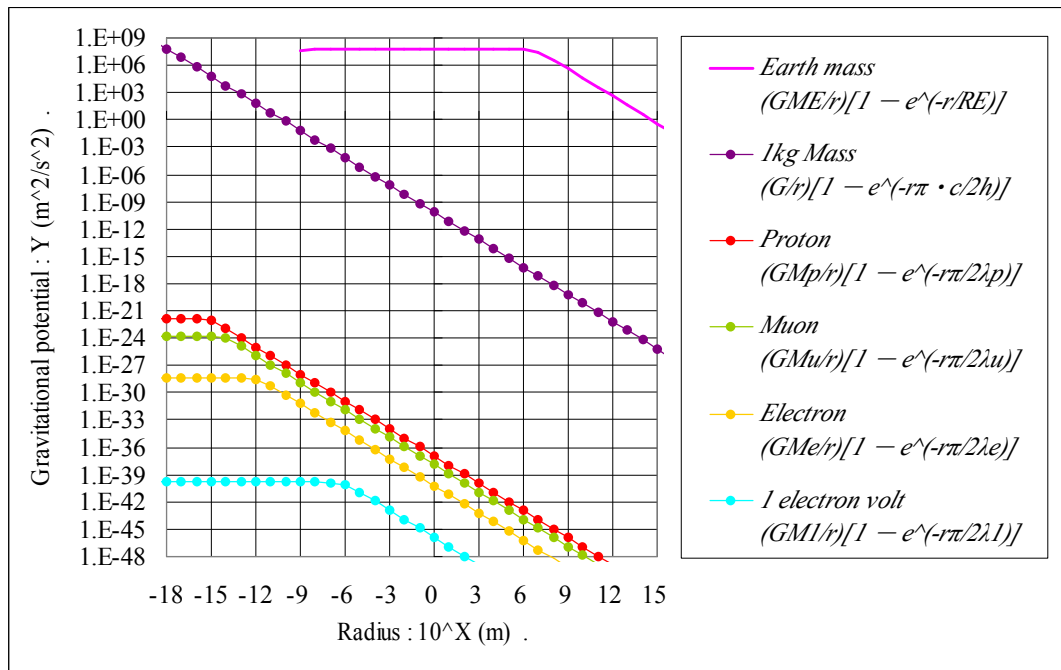


図 3 は、図 2 の項目に万有引力定数を掛け重力ポテンシャルにしたグラフである。地球の重力ポテンシャル(Pink)を比較のための参考に入れてある。

## CONCLUSION

マイクロ量子の質量が決まれば、湯川ポテンシャルによって波動半径や動径距離の線密度が決まる。これはマクロ物体による線密度の変化や重力ポテンシャルと同じステージで扱うことができることを意味する。これは量子重力の第一歩である。またフェルミ量子の荷電半径  $r$  は光量子(ボース量子)のコンプトン波長  $\lambda = (1/2)\pi r$  に対して  $1/2$  倍に閉じており、これは重力ポテンシャルの  $2GM/r$  に対して軸性を持つ。したがって陽子の質量から求めた荷電半径とミュオニック水素による陽子の荷電半径の実験結果は一致することから、これが本来の陽子の半径である。

## ACKNOWLEDGEMENTS

ネットで誰でも多くの学術情報に触れられるようになったことと、応援してくれる人々に感謝する。

## REFERENCES

<sup>1</sup> CODATA 2010 arXiv:1203.5425v1

<sup>2</sup> Pohl, R., Antognini, A., Nez, F., Amaro, F. D., Biraben, F., Cardoso, J. M., ... & Kottmann, F. (2010). The size of the proton. *Nature*, 466(7303), 213-216.

<sup>3</sup> *Science* 339, 417 (2013); Aldo Antognini *et al.* Frequencies of Muonic Hydrogen Proton Structure from the Measurement of 2S-2P Transition

<sup>4</sup> <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B9%E3%83%94%E3%83%B3%E8%A7%92%E9%81%8B%E5%8B%95%E9%87%8F>

<sup>5</sup> <http://web.ihep.su/dbserv/compas/src/yukawa35/eng.pdf>

<sup>6</sup> <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?plkm>