

# Uma pista para o enigma do tamanho do próton: A emergência do Paradigma Elétron-Membrana

Policarpo Yōshin Ulianov  
[policarpoyu@gmail.com](mailto:policarpoyu@gmail.com)

## Resumo

Experimentos recentes para a mediação do raio do próton [1] [2] com base em átomos de hidrogênio muonico, confirmaram que neste átomo o próton apresenta um tamanho 4% menor do que o valor padrão esperado.

O autor acredita que isto ocorre, pois o raio do próton se altera dependendo da partícula com a qual ele está interagindo.

Neste contexto o autor propõe que o raio padrão para o próton seja definido na condição onde um próton se encontre isolado no espaço, sem interagir com nenhuma outra partícula. O autor considera que nesta condição o raio padrão do próton deve bastante próximo ao valor obtido com base no hidrogênio muonico.

Caso isto seja verdade, uma solução para o “enigma do tamanho do próton” deve responder duas perguntas básicas:

a) Por que o próton aumenta de tamanho ao interagir com um elétron ao formar um átomo de hidrogênio?

b) Porque o próton mantém seu raio padrão quando interage com o muon ao formar um átomo de hidrogênio muonico?

A questão (a) pode ser respondida num contexto onde a força elétrica que surge entre as cargas opostas do elétron e do próton pode estar afetando o próton e expandindo o seu raio.

Considerando o principio da incerteza de Heisenberg, com o próton sendo o “observador” da posição do elétron, podemos afirmar que o próton também não irá “saber” onde o elétron se encontra. Desta forma o próton será simultaneamente atraído para todas as posições onde o elétron poderia estar que são definidas pela função de onda que descreve o orbital ocupado pelo elétron. Assim o principio da incerteza poderia explicar que o próton é submetido a um campo de forças radial, que tende a aumentar o seu tamanho, ficando ainda a questão (b) a ser respondida.

Uma outra solução, posposta pelo autor, para o enigma do tamanho do próton considera uma mudança na interpretação física das funções de onda, que atualmente são associadas densidade de probabilidade da presença do elétron em um dado volume de espaço.

Neste novo modelo todas as equações definidas nas funções de onda são mantidas, mas os valores finais (expressos em  $C/m^3$ ), são associados efetivamente a uma densidade de carga elétrica que existe simultaneamente, compondo assim uma membrana composta por cargas negativas, que estão distribuídas no espaço em torno do núcleo atômico.

Este um novo modelo foi denominado pelo autor de EMP (Electron Membrane Paradigm) ou Paradigma Eletron-Membrana, pois nele o elétron deixa de ser uma partícula pontual e se transformando em uma membrana.

O EMP tem potencial para resolver o enigma do tamanho do próton, ampliando o modelo padrão e possibilitando o surgimento de para novas teorias que possam modelar tanto os elétrons como outras partículas sob a forma de cordas e membranas.

## 1 – Introdução

Em de 2010, o Dr. Randolf Pohl[1] do Instituto Max Planck de Óptica Quântica, apresentou o resultado de experimentos baseados em hidrogênio muonico, onde o elétron é substituído por um muon, uma partícula de carga negativa igual a elétron, mas com uma massa 206 vezes maior. Nestes experimentos o valor obtido para o raio do próton foi de 0.8418(67)fm, ou seja um valor cerca de 4% menor do que o padrão atualmente considerado para o raio do próton (0.8775(51)fm).

No início de 2013 a equipe do Dr. Aldo Antognini, do Paul Scherrer Institut na Suíça [2], apresentou resultados de experimentos mais precisos realizados com hidrogênio muonico indicando um valor de raio do próton igual a 0.84087(39)fm.

Este novo resultado confirma o valor de raio do próton obtido pela equipe do Dr. Pohl e praticamente elimina a possibilidade de que existam erros experimentais.

Atualmente os físicos ao redor do mundo estão procurando uma solução para este problema, que esta sendo denominado “the proton size puzzle” (enigma do tamanho do próton).

Muitos cientistas investigam erros teóricos que possam justificar a variação do raio do próton, mas uma explicação plausível para o novo diâmetro do próton é que os muons não interagiriam com os prótons da mesma forma que os elétrons.

Isto significa que o raio do próton se alteraria dependendo da partícula com a qual ele está interagindo.

O autor acredita que a primeira pista para resolver o “the proton size puzzle” consiste em utilizar o valor de raio de próton obtido através do hidrogênio muonico (0.84087fm) como o novo raio padrão do próton, sendo considerado que um próton isolado no espaço, sem interagir com nenhuma outra partícula, irá apresentar este valor de raio.

Neste novo padrão o raio do próton não varia quando forma o hidrogênio muonico, sofrendo um aumento de 4% quando interage com o elétron formando um átomo de hidrogênio.

Uma possível e explicação para este aumento de raio do próton considera que a carga negativa do elétron esta atraindo a carga positiva do próton, gerando assim forças que tendem a esticar o próton. Para que isto ocorra o próton deve ser submetido a um campo de forças radiais, que ocorreriam no caso do elétron ter sua carga distribuída no espaço que cerca o próton. Desta forma o autor propõe que o modelo que descreve um elétron num átomo de hidrogênio deve ser revisto, dentro de duas principais linhas:

- a) O principio da incerteza de Heisenberg pode ser aplicado a um próton, agindo como observador de um elétron em um átomo de hidrogênio. Neste caso o próton a principio não consegue determinar a posição do elétron que gira ao seu redor! Isto significa que o próton será simultaneamente atraído para todos os pontos onde o elétron possa estar;
- b) O modelo de elétron “partícula/onda” descrito pelas funções de onda definidas para cada orbital deve ser revisto, considerando que as equações não calculam apenas uma densidade de distribuição de probabilidade de onde o elétron possa

estar. Assim os valores definidos pelas funções de onda poderiam ser associados a densidades de carga elétrica, com os elétrons sendo modelados por um tipo de membrana.

A opção (a) é mais conservadora e pode efetivamente explicar por que o rio do próton aumenta ao formar um átomo de hidrogênio, mas não explica por que o tamanho do próton não se modifica quando o mesmo interage com um muon.

A opção (b) leva a um novo modelo de elétron de elétron em forma de membrana, denominado pelo autor de Electron Membrane Paradigm (EMP). O EMP mantém todas as equações que definem a função de onda em um orbital, modificando apenas a interpretação física das mesmas, mantendo inclusive a mesma unidade ( $C/m^3$ ) utilizada nestas equações.

No EMP o elétron deixa de ser uma partícula pontual que gira em torno do próton e passa a compor uma membrana continua de cargas negativas, cuja carga total é igual a carga do elétron. Assim o elétron passa a compor uma casca esférica que envolve o próton e que ao receber energia muda de tamanho, assumindo o formato de um novo orbital.

Neste novo modelo quando o elétron é expelido do átomo, ele continua mantendo a forma de uma membrana esférica, o que explica por exemplo o fato que um único elétron pode interagir com ele mesmo em um experimento de dupla fenda.

No EMP um muon também é composto por uma membrana, mas com um raio muito menor do que o raio da membrana que forma o elétron.

Desta forma no hidrogênio muônico, o muon não “captura” o próton no seu interior, mas apenas entra em órbita em torno do mesmo, não gerando assim nenhuma força radial sobre o próton, que mantém seu valor de raio padrão.

## **1 – Electron Particle/Wave Paradigm**

A Figura 1 ilustra de forma rápida os avanços históricos do modelo atômico. O quadro (a) mostra o modelo proposto por Thomson em 1897, onde o átomo tinha em forma de um “pudim de ameixas”. O quadro (b) mostra o modelo atômico proposto por Rutherford em 1911, conhecido como modelo planetário, onde os elétrons são representados como pequenas bolinhas orbitando o núcleo atômico.

A impossibilidade experimental de determinar simultaneamente a posição e a velocidade do elétron definido no modelo de Rutherford, levou Heisenberg a formular o princípio da incerteza, gerando uma das bases da mecânica quântica. Devido a este princípio a posição do elétron em certo orbital passou a ser descrita em termos de funções que definem onde a probabilidade de encontrar o elétron é mais elevada.

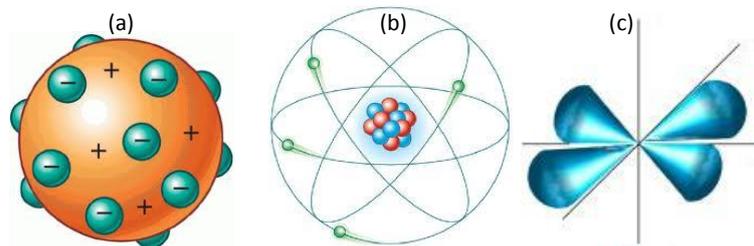


Figura 1 – Evolução histórica do modelo atômico.

Desta forma o modelo atualmente utilizada para representar o elétron considera um paradigma onda/partícula ou PWP (Particle/Wave Paradigm) no qual e o princípio da incerteza e as equação definidas físico austríaco Erwin Schrödinger em 1925, são utilizados na definição de orbitais atômicos modelados segundo funções de onda, representadas no quadro (c) da Figura 1.

E importante observar que o modelo de elétron Rutherford se mantém na base PWP pois as funções de onda de cada orbital estão associadas a densidade de distribuição de probabilidade do elétron se encontrar em um dado volume de espaço. Assim o elétron continua sendo interpretado como uma “pequena bolinha” que orbita o núcleo atômico.

A Figura 2 apresenta a representação gráfica do PWP, onde a função de onda do orbital s é observada como uma casca esférica que define onde a probabilidade de encontrar o elétron é maior.

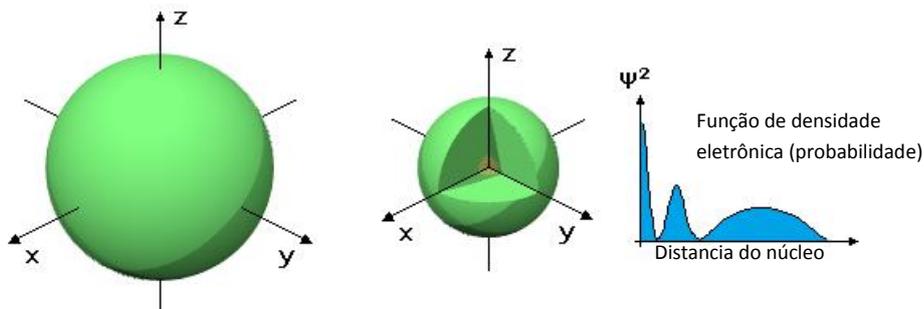


Figura 2 – Representação do orbital s.

A Figura 3 mostra uma representação alternativa onde a função de onda é associada a uma “nuvem” de pontos, que define onde é mais provável que o elétron seja encontrado. Assim numa análise temporal, a função de onda também define um valor de densidade media de carga elétrica, a associada ao um volume infinitesimal, expressa em  $C/m^3$ .

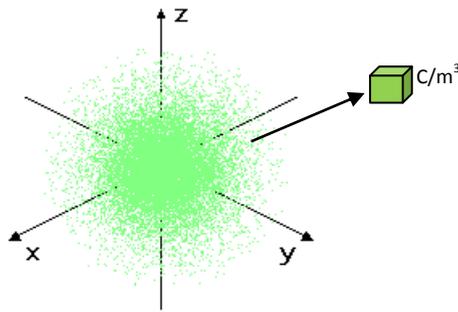


Figura 3 – O orbital s observado como uma nuvem de pontos.

## 2 – O princípio de Heisenberg aplicado a interação elétron-próton

A primeira contribuição do presente artigo para o “proton size puzzle” considera a aplicação do princípio da incerteza de Heisenberg num contexto onde um próton “observa” um elétron ao compor um átomo de hidrogênio.

A Figura 4 (a) mostra um esquema tradicional do elétron orbitando o próton, onde normalmente é considerado que surge uma força de atração entre as duas partículas, que no elétron é compensada pela força centrífuga.

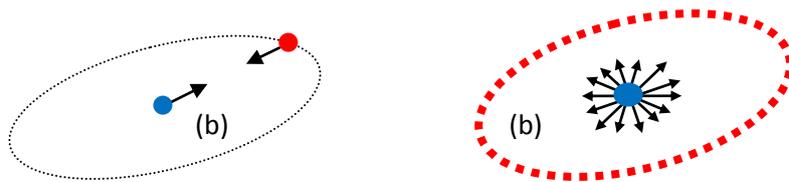


Figura 4 – Forças que surgem entre um elétron e um próton em um átomo de hidrogênio.

A Figura 4(b) representa a aplicação do princípio da incerteza ao próprio próton, que não podendo determinar a posição do elétron, é submetido a um campo de forças radial, composto por forças que apontam para todas as posições onde o elétron poderia estar localizado. Assim ao formar um átomo de hidrogênio o próton aumenta de tamanho, o que responde parcialmente o “proton size puzzle”. Seria ainda necessário explicar por que o próton não aumenta de tamanho ao interagir com um muon.

## 3 – Electron Membrane Paradigm

No paradigma elétron membrana (EMP) proposto pelo autor o elétron deixa de ser uma partícula pontual e passa a ser composto por uma membrana, que se comporta como um objeto único e que pode assumir o formato de um orbital atômico qualquer.

É importante observar que o EMP assume as mesmas formulas definidas pelas equações de onda, mudando-se apenas a interpretação física das mesmas. Assim uma função de onda associada a um certo orbital deixa representar densidades de distribuição de probabilidade e passam a ser associada uma densidade efetivas de distribuição de cargas elétricas, definindo assim uma membrana composta por cargas negativas que cercam o núcleo atômico.

O EMP propõe uma solução para o enigma do tamanho do próton, que é apresentada na Figura 5.

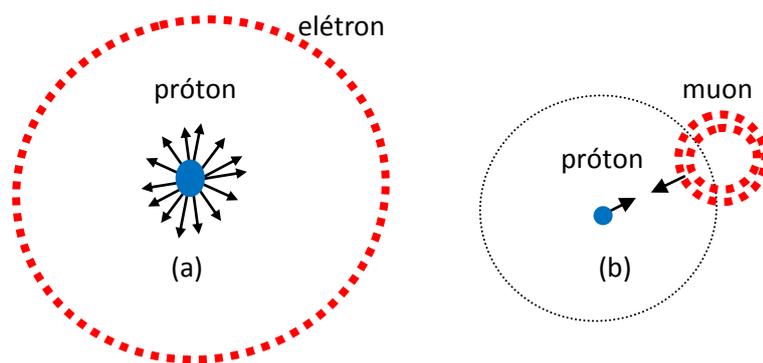


Figura 5 – Forças que surgem entre próton: (a) Em um átomo de hidrogênio normal; (b) Em um átomo de hidrogênio muonico.

Na Figura 5(a) podemos observar que a membrana que compõe o elétron gera forças atrativas que esticam o próton em todas as direções tendendo a aumentar o raio do próton. O caso do hidrogênio muonico é representado na Figura 5(b), onde o muon também forma uma membrana que é bem menor que a membrana que forma o elétron. Desta forma o muon não consegue capturar o próton em seu interior, orbitando em torno do mesmo conforme previsto no modelo padrão, não gerando assim forças que tendam a aumentar o raio do próton.

Se a Figura 5 fosse desenhada numa escala onde o próton tivesse o tamanho de uma bolinha de gude, a membrana do elétron poderia cobrir um campo de futebol, enquanto que o muon seria do tamanho de uma pizza.

Desta forma num átomo de hidrogênio o elétron “captura” o próton no interior de sua membrana, enquanto no hidrogênio muonico, o muon apenas descreve uma orbita em torno do próton, conforme mostrado na Figura 5.

#### 4 – E se o elétron for mesmo uma membrana?

No PWP o elétron é associado a uma partícula pontual, mas devido ao principio da incerteza de Heisenberg ele somente pode ser estudado de forma estatística, sendo associado a um função de onda, que define regiões com maior densidade de probabilidade do elétron ser encontrado.

Entretanto a hipótese de que o elétron é composto por uma membrana, contendo cargas negativas, lança uma nova luz sobre toda a evolução histórica dos modelos atômicos.

Caso esta hipótese seja verdadeira, o modelo de átomo planetário proposto por Rutherford, tornase tão distante da realidade quanto o modelo de atomo em forma de “pudim de ameixas” proposto por Thomson.

Alem disso para um elétron em forma de membrana as perguntas “Qual a posição do elétron?” e “Qual a velocidade do elétron?”, deixam de fazer sentido, pois nestas membrana irão existir conjuntos de partículas com carga negativa, cada uma delas assumindo uma determinada posição e velocidade.

Numa analogia simples podemos, por exemplo, perguntar qual a posição da torre Eiffel em relação à superfície da Terra, esperando obter como resposta um par de coordenadas (latitude e longitude). Por outro lado no EMP, perguntar qual a posição de um elétron

num átomo equivale a perguntar qual a posição da Europa em relação à superfície da Terra, esperando obter um par de valores numéricos como resposta.

Nesta analogia poderíamos afirmar que existe uma incerteza no posicionamento da Europa, definindo uma função de probabilidade de onde a Europa pode ser encontrada, que resulta num mapa-mundi o continente Europeu aparece destacado.

O autor acredita que para o caso do elétron orbitando um núcleo atômico o princípio da incerteza, proposto por Heisenberg, se torna uma “resposta certa” para uma “pergunta errada”.

Tentando buscar um ponto no mapa e encontramos um continente, definido exatamente os seus contornos e seu relevo, mas por razões históricas não somos capazes ainda de aceitar os resultados obtidos.

## 5 – Pontos em aberto no EMP

O EMP admite algumas variações para a representações de um elétron em forma de membrana como por exemplo:

- O elétron pode ser considerado como uma membrana gelatinosa espessa que ocupa exatamente a região definida pela função de onda, algo semelhante ao que é mostrado na Figura 2.
- O elétron pode ser composto por uma nuvem de pontos, semelhante à mostrada na Figura 3. Estes pontos estariam associados a “micro-eletrons”, formados por partículas pontuais negativas;
- O elétron é formado por uma casca esférica bidimensional, ou com uma espessura muito pequena, por exemplo igual ao comprimento de Planck. Assim o elétron assume apenas parcialmente o formato do orbital considerado. Isto ocorre pois esta casca esférica tenderia a girar e oscilar, variando ligeiramente a sua posição em torno do próton.

Cada um destes modelos pode ser associado a funções de onda de certo orbital, sendo que o valor final de densidade de carga ( $C/m^3$ ) definido pelas equações pode ser devido tanto a uma carga que existe simultaneamente em vários pontos do espaço, como também a uma distribuição probabilística associada ao movimento destas cargas no espaço.

E importante citar o EMP também possui alguns pontos críticos, como por exemplo: Se de fato o elétron é formado por conjunto de cargas negativas, como as mesmos se mantêm reunidas apesar das forças elétricas de repulsão?

Este tipo de problema pode ser resolvido de varias formas, sendo que a mais simples delas passa pela definição de um novo tipo de força que mantêm a membrana unida.

Por outro lado o EMP tem o potencial de esclarecer melhor alguns aspectos relacionados com o elétron. Por exemplo, um elétron se deslocando no vácuo é considerado no modelo padrão como sendo uma partícula pontual, enquanto que no EMP este elétron assume o formato de uma casca esférica, com diâmetro um pouco maior do que um átomo de hidrogênio, o que poderia explicar melhor como um único elétron gera o fenômeno da difração em um experimento de fenda dupla.

## 6 – Conclusão

O modelo atômico planetário proposto por Rutherford completou um século de existência e até hoje serve como base para paradigma partícula/onda que define o elétron. As próprias equações de Schrödinger que definem a função de onda para os orbitais atômicos são interpretadas como funções de distribuição de densidade de probabilidade de encontrar o “elétron planetário” definido por Rutherford em uma certa região do espaço.

Um passo relativamente pequeno precisaria ser dado para a adoção de um Paradigma Elétron Membrana, pois basta assumir que uma função de onda define uma densidade real de distribuição de cargas elétricas. Isto é algo que já poderia ter sido aceito, pois em termos práticos o EMP não modifica as equações das funções de onda, mantendo até mesmo as unidades finais ( $C/m^3$ ). Entretanto o paradigma do modelo planetário está muito enraizado nas bases da física e se não fossem os dados experimentais sobre o raio do próton obtidos com o experimento de hidrogênio muônico dificilmente um novo paradigma de elétron membrana poderia ser aceito.

Neste cenário o autor acredita que os experimentos com hidrogênio muônico realizados pela equipe do Dr. R. Pohl e pela equipe do Dr. Antognini devem no futuro se tornar um marco na física moderna, com potencial para ser tão importante, como por exemplo, a experiência histórica do interferômetro de Michelson, que marcou o fim da preponderância da mecânica newtoniana.

Isto ocorre pois graças ao experimento com hidrogênio muônico temos condições pela primeira vez na história da física de superar o modelo de Rutherford, deixando de lado a tentativa ingênua de adaptar os padrões que observamos em nosso sistema solar a fim de utilizá-los na descrição dos átomos.

Cabe observar que o EMP gera uma série de novos desafios, como por exemplo explicar por que as forças de repulsão que surgem entre as cargas negativas não rompem a membrana. Além disso o EMP abre uma nova possibilidade para que sejam elaborados novos tipos de teorias que possam, por exemplo, modelar outros tipos de partículas, incluindo o próton e o nêutron por meio de cordas e membranas.

O próprio autor deste artigo propôs uma nova teoria das cordas [1], que se baseia na existência de um tempo complexo, onde o colapso do tempo imaginário transforma partículas pontuais em cordas e membranas.

No contexto destas teorias o autor desenvolveu um modelo [4] no qual o próton é observado como uma membrana, com cargas positivas pontuais formando uma estrutura sólida como as cascas de uma cebola.

Este modelo permite calcular o raio de um próton isolado no espaço, com base no seu valor de massa, através da seguinte equação:

$$r_p = \frac{4 \hbar}{c m_p} \quad (1)$$

Sendo  $\hbar$  a constante de Planck corrigida,  $c$  a velocidade da luz e  $m_p$  a massa do próton, sendo obtido:

$$r_p = 8,4123 \times 10^{-16} \text{ m}$$

Este valor é apenas 0,043% superior ao raio do próton obtido no experimento com hidrogênio muonico [2]. Um erro tão pequeno parece demonstrar que os novos modelos apresentados pelo autor em [3] e [4] tem alguma validade. Entretanto a aceitação da equação (1) pela comunidade física demanda a quebra de uma serie de paradigmas, incluindo a existência do tempo complexo, a possibilidade de modelar prótons elétrons e muons como membranas e a possibilidade de que a massa de uma partícula esta relacionada com o numero de voltas na corda que define a sua membrana. Estes conceitos inovadores podem ser no momento apenas idéias fantasiosas, mas existe também a possibilidade dos mesmos serem verdadeiros e que a equação (1) seja no futuro utilizada como base para a definição do raio padrão de um próton isolado no espaço.

## 7 – Referencias

[1] Randolf Pohl, Aldo Antognini, François Nez, Fernando D. Amaro, François Biraben, João M. R. Cardoso, Daniel S. Covita, Andreas Dax, Satish Dhawan, Luis M. P. Fernandes, Adolf Giesen, Thomas Graf, Theodor W. Hänsch, Paul Indelicato, Lucile Julien, Cheng-Yang Kao, Paul Knowles, Eric-Olivier Le Bigot, Yi-Wei Liu, José A. M. Lopes, Livia Ludhova, Cristina M. B. Monteiro, Françoise Mulhauser, Tobias Nebel, Paul Rabinowitz, Joaquim M. F. dos Santos, Lukas A. Schaller, Karsten Schuhmann, Catherine Schwob, David Taqqu, João F. C. A. Veloso & Franz Kottmann: **The size of the proton**. In: Nature; 466, 213-216; 8 July 2010.

[2] Aldo Antognini, François Nez, Karsten Schuhmann, Fernando D. Amaro, François Biraben, João M. R. Cardoso, Daniel S. Covita, Andreas Dax, Satish Dhawan, Marc Diepold, Luis M. P. Fernandes, Adolf Giesen, Andrea L. Gouvea, Thomas Graf, Theodor W. Hänsch, Paul Indelicato, Lucile Julien, Cheng-Yang Kao, Paul Knowles, Franz Kottmann, Eric-Olivier Le Bigot, Yi-Wei Liu, José A. M. Lopes, Livia Ludhova, Cristina M. B. Monteiro, Françoise Mulhauser, Tobias Nebel, Paul Rabinowitz, Joaquim M. F. dos Santos, Lukas A. Schaller, Catherine Schwob, David Taqqu, João F. C. A. Veloso, Jan Vogelsang, Randolf Pohl: **Proton structure from the measurement of 2S – 2P transition frequencies of muonic hydrogen**. In : Science, 25 January 2013

[3] Policarpo Y. Ulianov: **Ulianov String Theory - A new representation for fundamental particles**. January 2012. In: <http://vixra.org/abs/1201.0101>

[4] Policarpo Y. Ulianov: **Explaining the Variation of the Proton Radius in Experiments with Muonic Hydrogen**. January 2012. In: <http://vixra.org/abs/1201.0099>