

UNICAMP

# O TRATAMENTO DO ÁTOMO DE HIDROGÊNIO SEGUNDO A MECÂNICA QUÂNTICA E SUA APLICAÇÃO NA FÍSICA DOS MÉSONS TIPO CHARMÔNIO

Pedro Augusto Minorin Mendes Ramos (IC),  
dompedrosegundo@gmail.com

DEPARTAMENTO DE RAIOS CÔSMICOS E CRONOLOGIA - INSTITUTO DE FÍSICA "GLEB WATAGHIN", UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
Agência Financiadora: PIBIC/CNPq

Prof. Dr. Carola Dobrigkeit Chinellato (Orientador)  
carola@ifi.unicamp.br

Palavras-chave: Hidrogênio – Charmônio – Positrônio

## INTRODUÇÃO

O átomo de hidrogênio é, certamente, um dos modelos mais importantes de introdução às partículas elementares. Seu modelo matemático fica claramente descrito pela equação de Schrödinger (figura 1). Neste projeto estudamos o átomo de hidrogênio segundo a mecânica quântica e estendemos o tratamento para o positrônio. O objetivo principal é obter uma descrição dos mésons do tipo charmônio, que consistem de estados ligados de charm – anticharm, ou seja, quark - antiquark.

O tratamento que fizemos do átomo de hidrogênio pode ser aplicado ao positrônio, que é um estado ligado elétron – pósitron. Entretanto, como se trata de outros tipos de constituintes, devemos fazer as adaptações necessárias para as correções, como para a massa reduzida. Além disso, também é importante considerar interações que não ocorrem no modelo do átomo de hidrogênio, como a aniquilação, por exemplo. O positrônio é uma introdução para o tratamento dos mésons tipo charmônio, pois seus potenciais são parecidos a pequenas distâncias e ambos são estados ligados do tipo partícula-antipartícula, como mostrados nas figuras 2 e 3. Finalmente é possível fazer comparações entre os dois estados ligados, que nos darão indícios de como tratar os estados de interesse, os mésons tipo charmônio.

$$H\Psi = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi + V(r)\Psi = E\Psi$$

Figura 1: Equação de Schrödinger.

## METODOLOGIA

Iniciamos nosso estudo através da solução da equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio. Este modelo é descrito, em primeira aproximação, pelo potencial coulombiano e a solução da equação de Schrödinger para este potencial resulta, entre outros conceitos, nos números quânticos. O spin não é descrito pela equação de Schrödinger, levando-nos a estudar separadamente esta propriedade. Quando inserido nas funções de onda, o spin, junto com as outras propriedades do átomo de hidrogênio nos leva ao estudo da teoria de perturbação quântica, um modelo que vai nos auxiliar nas correções de energia do estado ligado elétron-próton.

Essas correções serão : a estrutura fina e a hiperfina. Quando estendermos para o positrônio, ainda temos outro tipo de correções, além de adaptar as já conhecidas para a nova configuração. A partir desses modelos estudados, podemos fazer comparações iniciais para o estado charm-anticharm, para o começo de conclusões.

$$V(r) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\alpha_{coul} \hbar c}{r}$$

Figura 2: Potencial coulombiano

$$V(r) = -\frac{4}{3} \frac{\alpha_{forte} \hbar c}{r} + F_0 r$$

Figura 3: Potencial do quarkônio



## RESULTADOS e CONCLUSÕES

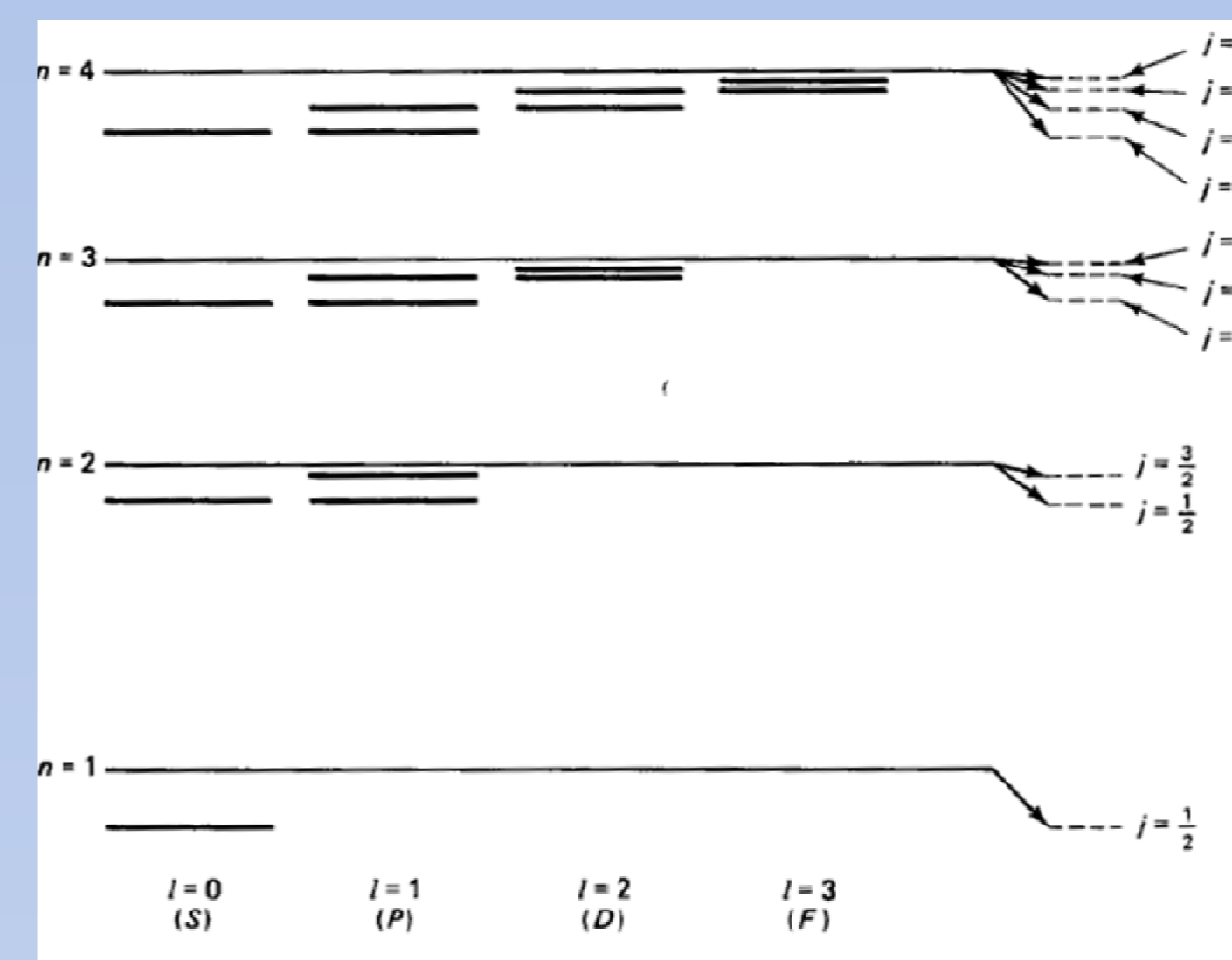


Figura 4: Estrutura fina no Hidrogênio

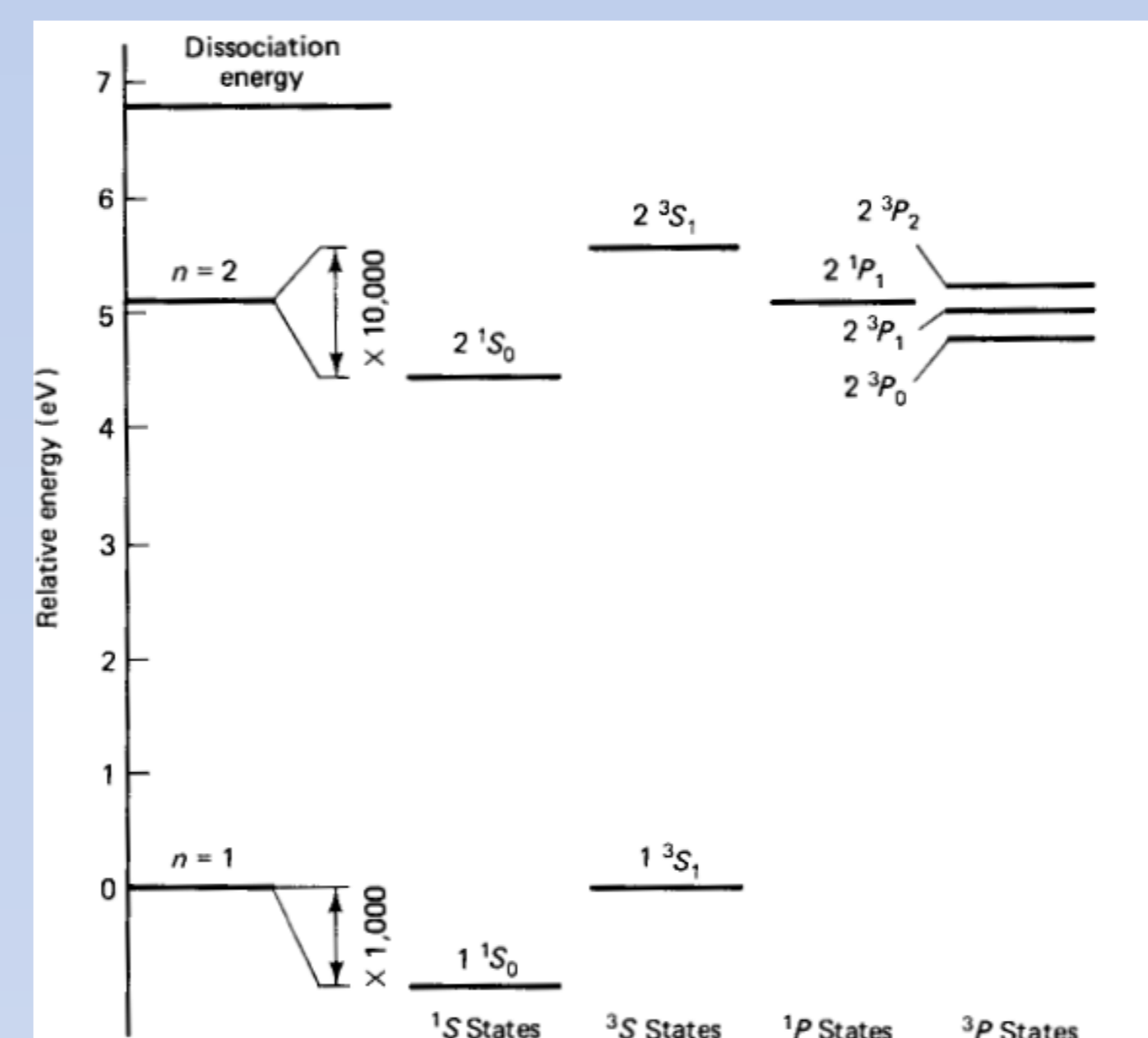


Figura 5: Níveis de energia do positrônio

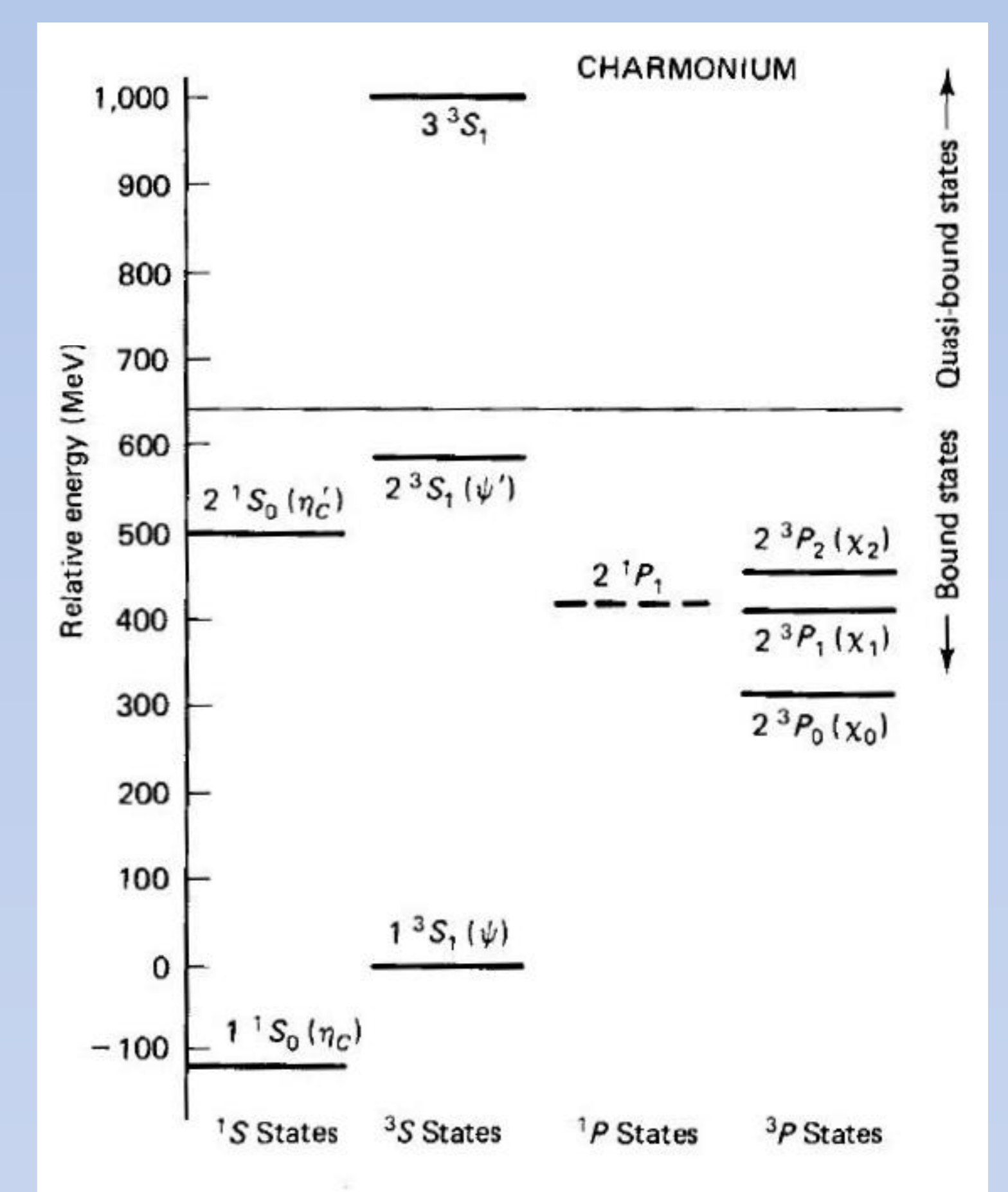


Figura 6: Níveis de energia do charmônio

A resolução da equação de Schrödinger com o potencial coulombiano foi de suma importância para posteriormente aplicarmos as correções, tanto no positrônio, quanto no quarkônio, visto que suas energias, em primeira aproximação, também são dadas por um potencial com uma dependência radial semelhante ( $V(r) \propto 1/r$ ).

Com os níveis de energia do positrônio já calculados, podemos futuramente comparar com os dados dos mésons tipo charmônio. Esta comparação pode iniciar pelos potenciais, já que, para raios pequenos ambos os potenciais são  $\propto 1/r$ . Em seguida devemos levar em consideração o termo linear do potencial do charm-anticharm, que ainda não estudamos e certamente fará uma grande diferença nas energias dos auto-estados.

Para os níveis mais baixos, fica claro nos diagramas das figuras 5 e 6 que podemos descartar quase completamente o termo linear que os difere, fazendo dessa forma os dois estados muito parecidos em tais níveis. É fácil notar que é guardada uma proporcionalidade entre as energias dos vários estados. Conforme a energia do nível aumenta, a discrepância aumenta logo a parte linear em r entra com fator importante no cálculo necessitando um estudo específico para o caso. Para completeza do estudo devemos, portanto, incluir o termo linear e fazer as correções necessárias para a configuração de estado ligado charm-anticharm.