

## ESTUDO DO DECAIMENTO DE $f_2(1270)$

KAMILA MENDES<sup>1</sup>; MÁRIO L. L. DA SILVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – kmilamdes@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – mllsilva@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

O setor de mésons leves têm sido objeto de grande interesse em física de partículas, devido às incertezas quanto às suas propriedades, em especial em relação à estrutura de alguns desses mésons que não está completamente estabelecida. (MOREIRA, 2019)

O méson  $f_2(1270)$  de números quânticos  $I^G(J^{PC})=0^+(2^{++})$ , massa  $m=1275,5\pm 0,8$  MeV, é considerado, no modelo quark, como sendo um par quark-antiquark simples. No entanto, na literatura encontramos vários modelos possíveis para sua estrutura interna, um deles é de que o  $f_2(1270)$  se misture com um glueball tensor de menor massa, ambos possuindo o mesmo  $J^{PC}=2^{++}$  (SHEN, 1989).

A identificação destes estados é importante pois espera-se da cromodinâmica quântica (QCD) que os glueballs, estados ligados que consistem apenas em glúons, devam existir devido ao auto-acoplamento entre os bósons de calibre (glúons). Portanto, a identificação dos glueballs é uma prova essencial para a validade da QCD. (SHEN, 1989). Aqui consideramos a possibilidade de que o  $f_2(1270)$  tenha uma componente glueball em sua estrutura, sendo, nesse caso, uma mistura de estados  $|n\bar{n}\rangle$ ,  $|s\bar{s}\rangle$  e  $|G\rangle$

Neste trabalho, o foco é investigar a estrutura interna do méson  $f_2(1270)$  a partir do estudo do seu decaimento radiativo. Iremos considerar aqui duas possibilidades. A primeira é de que o méson é composto unicamente por quarks do tipo u e d, a fim de investigar a contribuição destes quarks para a estrutura do méson. A outra é de que ele seja formado unicamente por quarks do tipo s. No primeiro caso, estudamos o decaimento  $f_2(1270) \rightarrow \gamma\rho$ , visto que transições radioativas para  $\rho$  acoplam diretamente ao conteúdo  $u\bar{u} \pm d\bar{d}$  do méson. No segundo, estudamos o decaimento  $f_2(1270) \rightarrow \gamma\phi$ , já que transições radioativas para  $\phi$  acoplam diretamente ao conteúdo  $s\bar{s}$  do méson.

### 2. METODOLOGIA

#### 2.1 POTENCIAL DE CONFINAMENTO

No modelo quark constituinte não relativístico, um méson é descrito como sendo composto por um quark e um antiquark. Sendo suas funções de onda descritas por um Hamiltoniano, da forma

$$H = \frac{p^2}{m_q} + V(r)$$

com parâmetros do modelo quark padrão  $m_q=0,33$  para quarks u e d  $m_q=0,45$  para quarks s, e  $V(r)$  é o potencial responsável pelo comportamento do sistema dado por

$$V(r) = \sigma r - \frac{4}{3} \frac{\alpha_s}{r} + C$$

com  $\sigma = 0,18 \text{ GeV}^2$  e  $\alpha_s = 0,5$ , conhecido como o potencial de Cornell, uma combinação do potencial Coulomb + linear, que combina o comportamento da interação de cores nos dois limites assintóticos. Utilizaremos esse potencial para encontrar os parâmetros da gaussiana  $\beta_M$  ao resolver a equação de Schrodinger por meio do método da variacional.

As funções de onda dos mésons são definidas por uma gaussiana multiplicada por um polinômio de Legendre de acordo com o número quântico  $\ell$  do méson. Para estados em que  $\ell = 0$ , a função de onda, em termos de  $r$ , é definida por

$$\Psi_M = A \exp\left(-\frac{\beta_M^2 r^2}{2}\right) Y_{00}$$

Aqui  $A$  representa a constante de normalização que é obtida pela normalização

$$\int_0^\infty \int_0^\pi \int_0^{2\pi} |\Psi_M|^2 r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi = 1$$

$$A = \frac{2\beta_M^{3/2}}{\pi^{1/4}}$$

Para  $\ell = 1$ , a função de onda em termos de  $r$  é definida por

$$\Psi_M = B r \exp\left(-\frac{\beta_M^2 r^2}{2}\right) Y_{10}$$

Onde  $B$  é constante de normalização, cujo valor obtido pela normalização é dado por

$$B = 2\sqrt{\frac{2}{3}} \frac{\beta_M^{5/2}}{\pi^{1/4}}$$

## 2.2 MODELO DE DECAIMENTO

Podemos investigar a estrutura interna do méson  $f_2(1270)$  por meio do decaimento radioativo, já que esta ferramenta oferece uma investigação bastante direta da estrutura dos hádrons.

Os valores dos decaimentos foram obtidos utilizando o Modelo de Quark Não-Relativístico, com alguns parâmetros do modelo proposto por CLOSE (2002) e CLOSE (2003), as massas do PDG (NAVAS, 2024) e os parâmetros da gaussiana pelo método variacional (ZETTILI, 2009).

No Modelo de Quark Não-Relativístico, o decaimento de um méson  $A$ , de  $m_A$ , em repouso, para um méson  $B$ , de massa  $m_B$ , é descrito pela expressão

$$\mathcal{M}_{A \rightarrow B} = \mathcal{M}_{A \rightarrow B}^q + \mathcal{M}_{A \rightarrow B}^{\bar{q}}$$

Usando a forma matricial, para um méson  $M$ , com quark de spin 0, momento angular total  $j$ , e número quântico magnético  $m$ , a função de onda é dada por

$$\phi_M(q) = \frac{1}{\sqrt{2}} \hat{1} Y_{jm}(\hat{q}) R_M(q)$$

E para um méson de momento angular  $j$ , com quark de spin 1 e momento orbital  $l$ , a função de onda é dada por

$$\phi_M(q) = \frac{1}{\sqrt{2}} Y_{jlm}(\hat{q}) \sigma R_M(q)$$

onde a função de onda radial mesônica é dada por

$$R_M(q) = \exp\left(-\frac{q^2}{2\beta_M^2}\right)$$

A taxa de decaimento diferencial, que possui relação com a amplitude de transição é

$$\frac{d\Gamma}{d\cos\theta} = 4p \frac{E_B}{m_A} \alpha I \sum |\mathcal{M}_{A \rightarrow B}^q|^2$$

e o decaimento  $f_2(1270) \rightarrow \gamma V$  é dado por

$$\Gamma(f_2 \rightarrow \gamma V) = \frac{8}{3} \alpha p \frac{E_B}{m_A} \frac{\beta^2}{m_q^2} F^2 \times \left(1 - \lambda \frac{p^2}{\beta^2} \frac{7}{10} \lambda^2 \frac{p^4}{\beta^4}\right) I$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo, nas Tabelas 1 e 2, estão os valores dos parâmetros da gaussiana, obtidos para os estados  $n\bar{n}$  e  $s\bar{s}$ , respectivamente.

Tabela 1 - Valores de  $\beta_M$  obtidos para estados  $n\bar{n}$

Méson	Massa(GeV)	$\beta_M$ (GeV)
$1^{--}$	775,26	0,312
$2^{++}$	1275,5	0,272

Tabela 2 - Valores de  $\beta_M$  obtidos para estados  $s\bar{s}$

Méson	Massa(GeV)	$\beta_M$ (GeV)
$1^{--}$	1019,46	0,354
$2^{++}$	1275,5	0,305

Na Tabela 3, mostramos os resultados obtidos para os decaimentos  $f_2(1270) \rightarrow \gamma \rho$  e  $f_2(1270) \rightarrow \gamma \phi$ , utilizando o modelo proposto por CLOSE(2003).

Tabela 3 - Valores das taxas de decaimento para  $\rho$  e  $\phi$

Modelo	$\Gamma_{f_2 \rightarrow \gamma \rho^0}(\text{keV})$	$\Gamma_{f_2 \rightarrow \gamma \phi}(\text{keV})$
$\Gamma_{\text{MOD}}$	566,24	150,88

De acordo com CLOSE(2003) devido a contribuição negativa de  $p^2/\beta^2$  o decaimento  $f_2(1270) \rightarrow \gamma p$  tem seu valor menor que o dos demais já mensurados, como o  $f_1(1285)$ , por exemplo. É previsto uma largura de 644 KeV para o  $f_2(1270)$ . CLOSE(2003) argumenta ainda que experimentalmente esta largura é pequena, pois não há observação de qualquer sinal de  $f_2(1270)$  no decaimento  $J/\Psi \rightarrow \gamma(\gamma p)$ , deduzindo assim um limite superior de 500 keV para  $\Gamma(f_2 \rightarrow \gamma p)$  com nível de confiança de 95%.

Os resultados para  $f_2(1270) \rightarrow \gamma p^0$  e para  $f_2(1270) \rightarrow \gamma \phi$ , mostrados na Tabela 3, sugerem que a contribuição de quarks  $u$  e  $d$  seja maior que do quark  $s$  para estrutura interna do  $f_2(1270)$ , devido a largura de decaimento  $f_2(1270) \rightarrow \gamma \phi$  ser pequena em relação a  $f_2(1270) \rightarrow \gamma p^0$ . Para uma estimativa quanto à contribuição de glúons, há a necessidade de que tenhamos resultados experimentais de decaimento à disposição, e que para o méson  $f_2(1270)$  ainda não há, o que dificulta nossa estimativa quanto ao ângulo de mistura.

Portanto, nossos resultados estão de acordo com outras previsões teóricas quanto a largura de decaimento esperada para o  $f_2(1270)$ . A expectativa é de que sejam feitas medidas experimentais que nos permitam investigar de forma mais efetiva sua estrutura, estimando a contribuição de cada componente.

#### 4. CONCLUSÕES

Com estes resultados de decaimento, podemos estimar a contribuição de quarks  $u$ ,  $d$  e  $s$  para a estrutura interna do méson  $f_2(1270)$ , no entanto, para a contribuição de glúons, é necessário que sejam publicados resultados experimentais para estes decaimentos, tornando possível a estimativa quanto ao ângulo de mistura de cada componente. Esperamos que estes resultados sejam um incentivo à produção de dados experimentais que nos permitam investigar de forma mais completa a estrutura do méson  $f_2(1270)$ .

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MOREIRA, P. G.; DA SILVA, M. L. L. Investigating the glue content of  $f_1(1285)$ . **Nuclear Physics A**, v. 992, p. 121641, 2019.

CLOSE, F. E.; DONNACHIE, A.; KALASHNIKOVA, Y. S. Radiative decays of excited vector mesons. **Physical Review D**, APS, v. 65, n. 9, p. 092003, 2002.

CARVER, M. et al. Photoproduction of the  $f_2(1270)$  meson using the CLAS detector. **Physical review letters**, APS, v. 126, n. 8, p. 082002, 2021.

SHEN, Q.-X.; YU, H. Glueball components of the meson  $f_2(1270)$ . **Physical Review D**, APS, v. 40, n. 5, p. 1517, 1989.

ZETTLI, N. **Quantum mechanics: concepts and applications**. Chichester: John Wiley & Sons, 2009.

NAVAS, S. et al. Particle Data Group. **Review of Particle Physics**. *Physical Review D*, v. 110, p. 030001, 2024.