

Capítulo 5. Los hadrones.

5.1. Aplicación de la ecuación de onda a los partones.

Dado que los partones poseen cargas electrofuertes muy grandes deberían ser capaces de formar estructuras similares a los átomos, pero unidas por las cargas electrofuertes en vez de por las cargas eléctricas, y por tanto con energías de enlace mucho mayores. La ecuación de onda para un potencial que decrece con la inversa del radio nos proporciona los siguientes niveles energéticos:

$$E = -mc^2 \left[1 \pm \sqrt{\frac{n'^2}{n'^2 + \alpha'^2}} \right] \text{ con}$$

$$\alpha' = \frac{q_1 q_2}{\hbar c 4\pi \epsilon_0}$$

$m \rightarrow$ masa reducida, $n' = n - \delta(l)$, $\delta(l) = l - l'$, y $l =$ entero positivo, y l' la solución a la siguiente ecuación:

$$l'^2 + l' - \alpha'^2 - l(l+1) = 0$$

Si $l=0$ (orbitales esféricos) entonces

$$l' = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 4\alpha'^2}}{2}$$

Como en el caso de los hadrones $\alpha' \gg 1$ podemos hacer la siguiente aproximación:

$$l' \cong \frac{-1 \pm 2\alpha'^2}{2} \cong \alpha'^2, \text{ lo que nos proporciona los siguientes posibles valores de la energía:}$$

$$E = -mc^2 \left[1 \pm \sqrt{\frac{\alpha'^2}{\alpha'^2 + \alpha'^2}} \right] = -mc^2 \left[1 \pm \sqrt{\frac{1}{2}} \right]$$

y por tanto:

$$E_{ENLACE} = -0,2928mc^2 \text{ o } E_{ENLACE} = -1,7072mc^2$$

La primera solución se corresponde con la experimental de los orbitales electrónicos, veamos pues alguna reacción nuclear, por ejemplo, el decaimiento de un neutrón libre según la siguiente reacción:

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \nu_e$$

La primera solución nos proporcionaría una energía de enlace igual a:

$$E_{ENLACE} = 0,2928 \cdot m(e) = 0,15 \text{ MeV}$$

Y la segunda solución nos proporcionaría una energía de enlace igual a:

$$E_{ENLACE} = 1,7072 \cdot m(e) = 0,87 \text{ MeV}$$

como la máxima energía cinética del electrón medida ha sido de $0,782 \pm 0,13 \text{ MeV}$ se escoge la segunda solución.

El hecho de que la energía de enlace sea superior a la energía en reposo va a tener dos consecuencias muy importantes, la primera es que explica que no se hayan detectado los partones por separado hasta ahora, la segunda es *que no se va a cumplir el principio de exclusión de Pauli en los partones*.

La formula anterior justifica un sistema de masas lineal para los hadrones. Ya en 1952 Nambu había propuesto que las masa de los hadrones estaban cuantizadas con un quantum de aproximadamente 70 MeV, en realidad 35 MeV correspondiendo los múltiplos impares con los bariones, mientras que los mesones serían los múltiplos pares.

Analicemos entonces las diferentes combinaciones que pueden darse.

Tipo POSITRONIO (Mesones) Formados por dos ondas iguales, por tanto espín total cero.

Nótese que + y - se refieren a cargas electrofuertes.

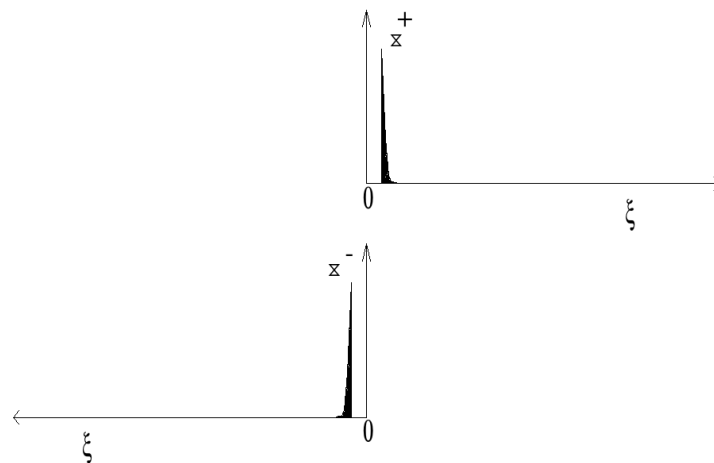


Figura 5.1. Tipo positronio

La masa reducida será entonces $m' = \frac{m^2}{2m} = \frac{m}{2}$

y por tanto la energía de enlace será igual a

$$E_{ENLACE} = 1,7072m' = 1,7072\frac{m}{2} = 0,8536m$$

Y la masa total será entonces $M = 2m + 0,8536m = 2,8536m$.

De donde podemos obtener aproximadamente la masa del partón

$$m_{partón} \cong \frac{35}{2,8536} = 12,27 MeV/c^2$$

Tipo HELIO (Bariones) 3 ondas. Espín total 1/2

A.1 Número de partones divisible por 4.

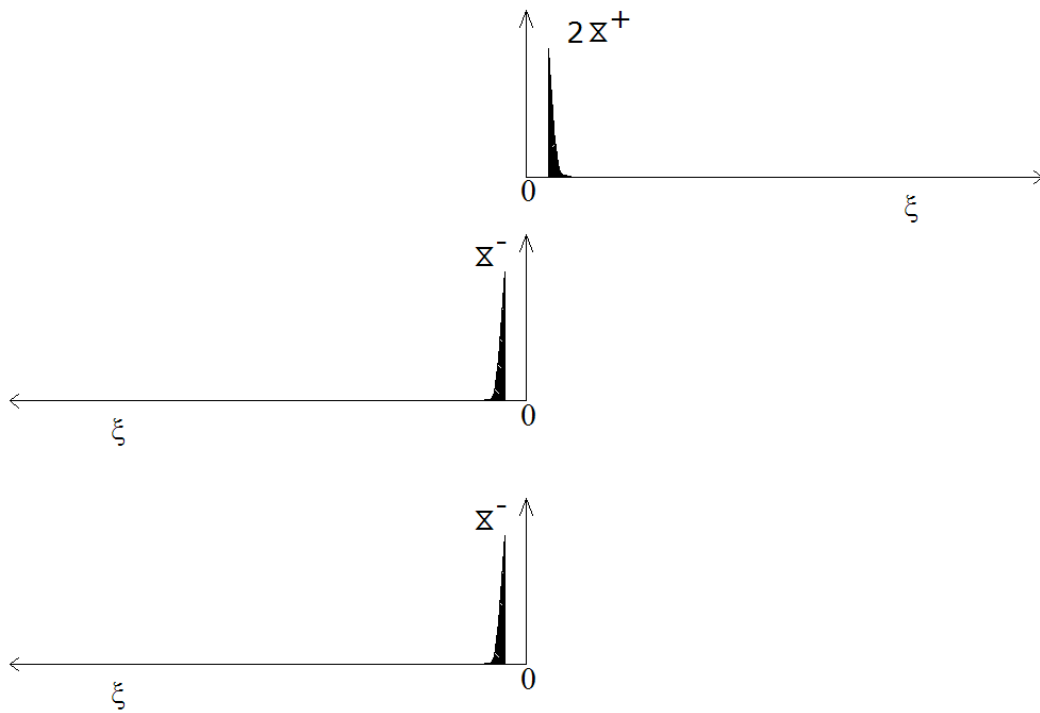


Figura 5.2. Tipo Helio. N° partones divisible por 4

La masa reducida será entonces

$$m' = \frac{2m \cdot m}{2m + m} = \frac{2}{3}m$$

y por tanto la energía de atracción será

$$E_{Atracción} = 1,7073\frac{2}{3}m$$

Esta energía de enlace se ve reducida debido a la repulsión entre los dos partones más ligeros, ya que tienen la misma carga electrofuerte. Esta repulsión se puede estimar como el producto

de los dos partones más ligeros multiplicados por 1,7072, pero considerando que ambos ya están fijados por el partón de mayor masa se utilizarán como masas de partida las masas previamente reducidas, es decir $2/3m$.

$$\text{REPULSIÓN} = 1,7073 \cdot \left[\frac{2/3m \cdot 2/3m}{2/3m + 2/3m} \right] = 1,7073 \frac{m}{3}$$

Por tanto, la energía de enlace será:

$$E_{\text{enlace}} = 2 \cdot \text{ATRACCIÓN} - \text{REPULSIÓN} = 1,7073 \left(\frac{4}{3}m - \frac{1}{3}m \right) = 1,7073m$$

Esto es, la misma que en el tipo positronio. Dado que el tipo positronio es más simétrico y simple (dos ondas frente a tres) el tipo helio debe estar gravemente penalizado. *Esto explica porqué los múltiplos pares de 35 MeV son preferiblemente mesones.*

A.2 Número de partones par, pero no divisible por 4.

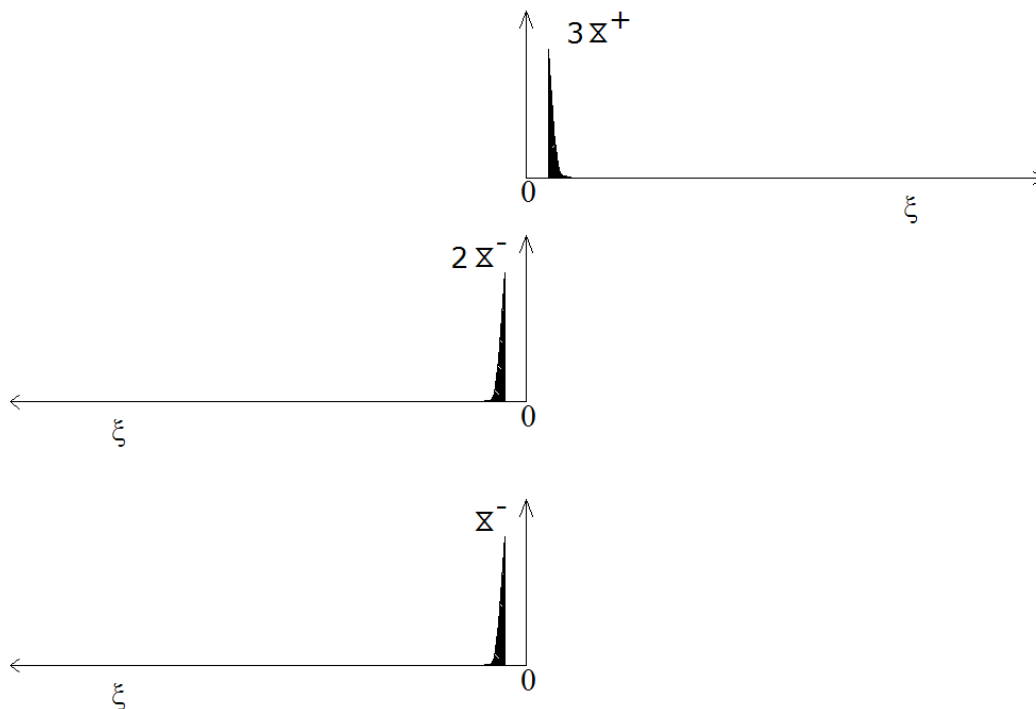


Figura 5.3. Número de partones par, pero no divisible por 4

Siguiendo el mismo método de cálculo:

$$m'_1 = \frac{3m \cdot 2m}{3m + 2m} = \frac{6}{5}m; m'_2 = \frac{3m \cdot m}{3m + m} = \frac{3}{4}m; \text{Repulsión } m'_3 = \frac{6/5m \cdot 3/4m}{6/5m + 3/4m} = 0,46153m$$

Por tanto, la masa total será: $M = 3m + 2m + m + 1,7072[6/5m + 3/4m - 0,46453m] = 8,5411m$

Si fuese un mesón $M = 3m + 3m + 1,7072m/2 = 8,5608m$

La solución bariónica es ahora más ligera, y por tanto prevalece. Esto explica porqué los múltiplos impares de 35 MeV son preferiblemente bariones.

El barión más ligero posible debería tener una masa igual a $m_\mu = 8,5411 \cdot 12,27 = 104,79 \text{ MeV}$

Esta estimación es un 0,82% más ligera que la masa experimental del muón $m_\mu = 105,65 \text{ MeV}$

Previamente habíamos postulado la existencia de partones ligeros y pesados, *pero no existía previamente ninguna referencia a la existencia de un sistema multilinear de masas para las partículas subatómicas.*

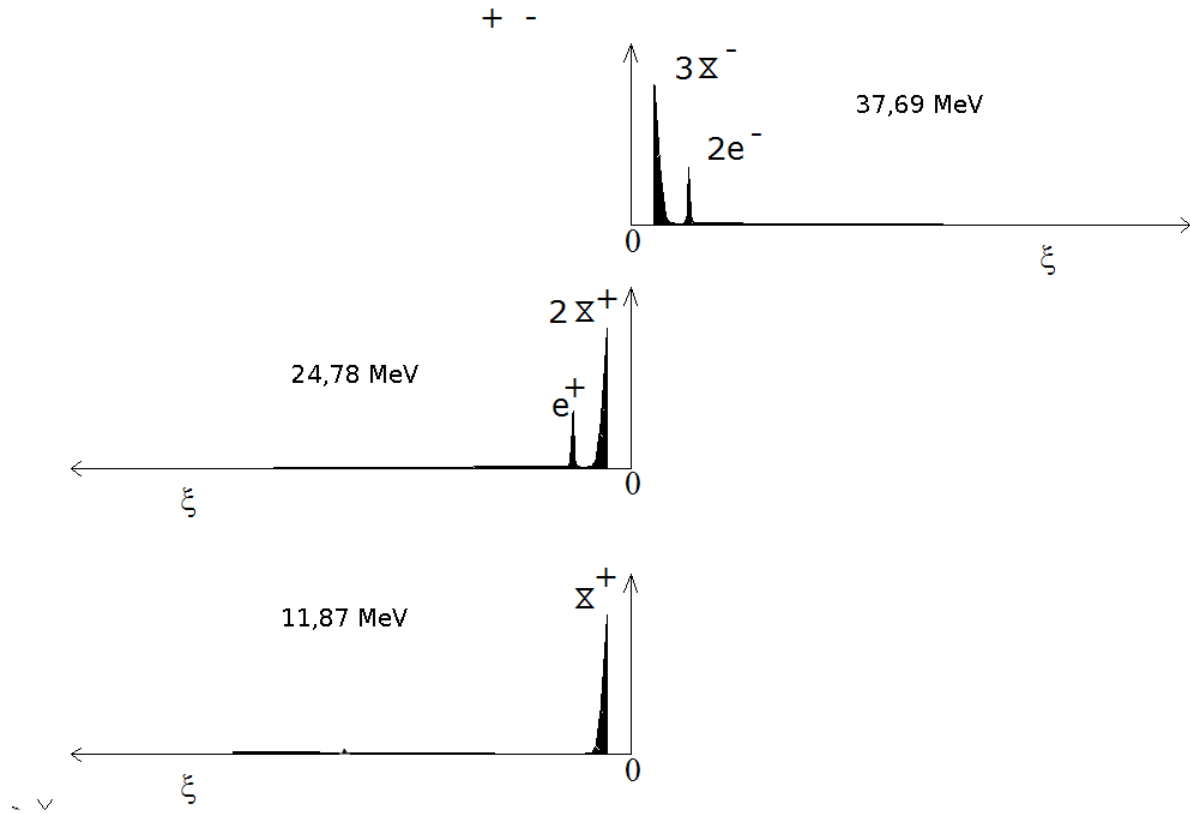
Gracias al gran trabajo del Dr Palazzi ha sido posible superar esta dificultad. Sus trabajos no han recibido la atención que merecen, pero afortunadamente se encuentran disponibles en su página web <http://www.particlez.org>. Palazzi [19], aplicando apropiadas técnicas estadísticas, es capaz de sistematizar las masas de virtualmente todos los mesones y bariones mediante un sistema lineal basado en dos partículas, una ligera sin carga ($33.88 \text{ MeV}/c^2$) que podemos identificar con los partones ligeros y otra ligeramente más pesada y con carga eléctrica ($36.84 \text{ MeV}/c^2$) que podemos asimilar con el partón pesado.

Ahora podemos conocer las masas de los partones:

$$m_{\text{partón ligero}} \cong \frac{33,88}{2,8536} = 11,87 \text{ MeV}/c^2$$

$$m_{\text{partón pesado}} \cong \frac{36,84}{2,8536} = 12,91 \text{ MeV}/c^2$$

Intentaremos aplicar lo anterior a las partículas más simples. En los bariones la menor energía de repulsión se obtiene cuando la distancia entre las ondas con la misma carga es maximizada, por lo que las dos ondas más pequeñas deben ser lo más desiguales posible. La carga eléctrica debe acumularse en las dos ondas más interiores, ya que las cargas de diferente signo tienden a estar lo más cerca posible. Esto no significa que el resto de combinaciones no puedan existir, al menos temporalmente como estados excitados.

Propuesta para el muón**Figura 5.4.** Propuesta para el muón

$$m_a = 11,87 + 2 \cdot 12,91 = 37,69 \text{ MeV}$$

$$m_b = 11,87 + 12,91 = 24,78 \text{ MeV}$$

$$m_c = 11,87 \text{ MeV}$$

$$m'_1 = \frac{37,69 \cdot 24,78}{37,69 + 24,78} = 14,95 \text{ MeV}$$

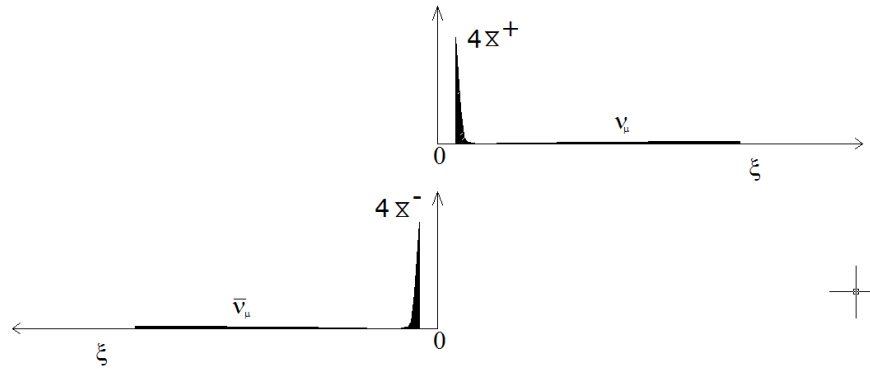
$$m'_2 = \frac{37,69 \cdot 11,87}{37,69 + 11,87} = 9,027 \text{ MeV}$$

$$m'_{rep} = -\frac{14,95 \cdot 9,027}{14,95 + 9,027} = -5,6285 \text{ MeV}$$

Por tanto:

$$m_\mu = 37,69 + 24,78 + 11,87 + 1,7072 \cdot (14,95 + 9,027 - 5,6285) = 105,6641 \text{ MeV}$$

Como la masa experimental del muón es $m_\mu = 105,6583 \text{ MeV}$ el error disminuye hasta el 0,006%.

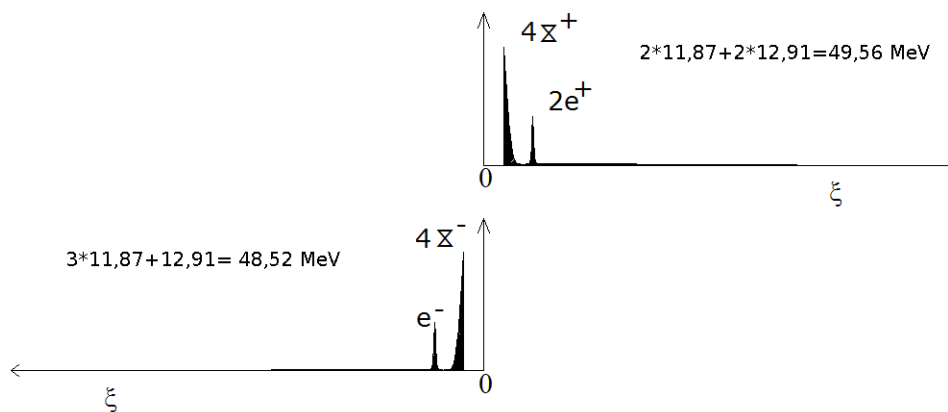
Propuesta para el π^0 **Figura 5.5.** Propuesta para el π^0

$$4 * 11,87 = 47,48 \text{ MeV}$$

$$4 * 11,87 = 47,48 \text{ MeV}$$

$$m'_1 = \frac{47,48 \cdot 47,48}{47,48 + 47,48} = 23,74 \text{ MeV} \rightarrow m_{\pi^0} = 47,48 + 47,48 + 1,7078 \cdot 23,74 = 135,49 \text{ MeV}$$

Como la masa experimental es: $m_{\pi^0} = 135,0 \text{ MeV}$ el error es igual a 0,35%.

Propuesta para el π^+ .**Figura 5.6.** Propuesta para el π^+

$$m'_1 = \frac{49,56 \cdot 48,52}{49,56 + 48,52} = 24,5172 \text{ MeV} \rightarrow m_{\pi^0} = 49,56 + 48,52 + 1,7078 \cdot 24,5172 = 139,93 \text{ MeV}$$

Como la masa experimental es $m_{\pi^+} = 139,57 \text{ MeV}$ el error es igual a 0,26%.

Propuesta para el protón.

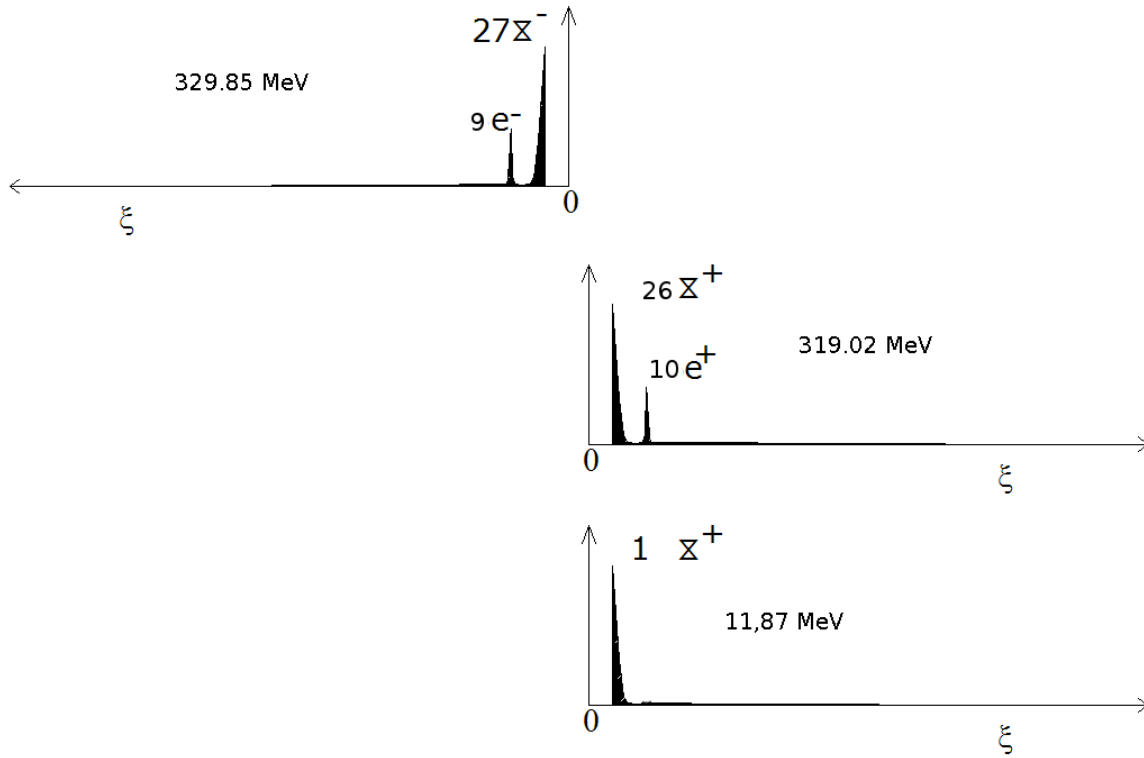


Figura 5.7. Propuesta para el protón

$$m'_1 = \frac{329.85 \cdot 319.02}{329.85 + 319.02} = 162.17 \text{ MeV}$$

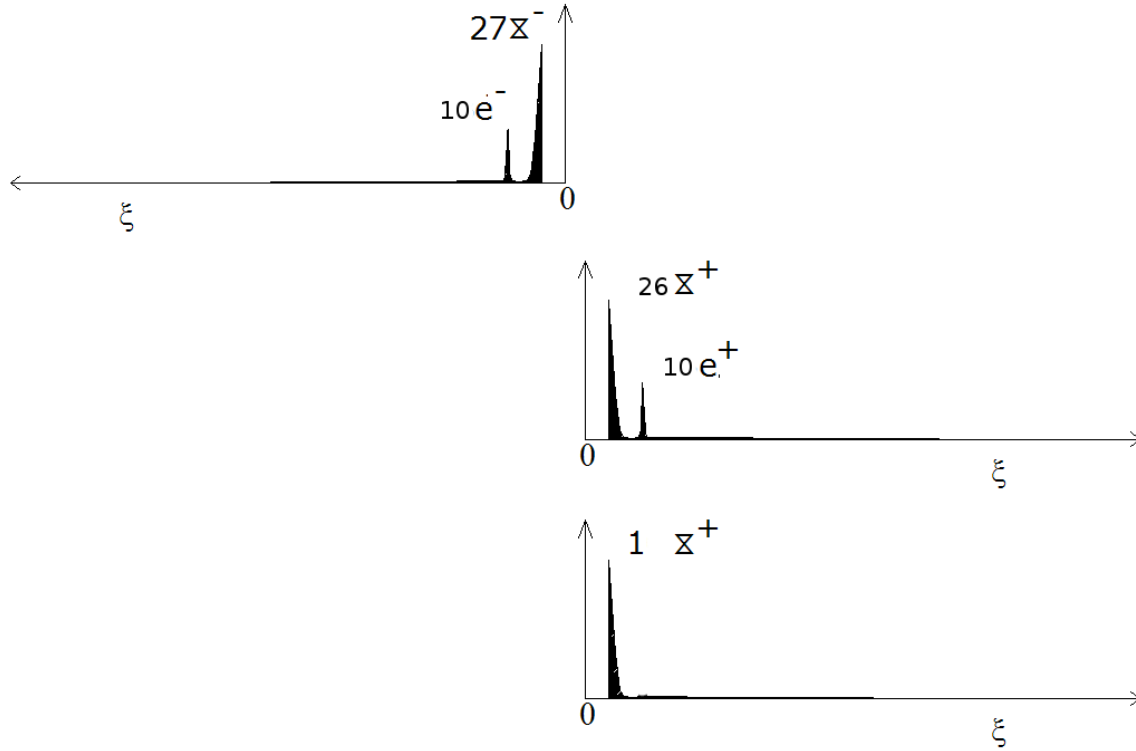
$$m'_2 = \frac{329.85 \cdot 11.87}{329.85 + 11.87} = 11.46 \text{ MeV}$$

$$m'_{rep} = -\frac{162.17 \cdot 11.46}{162.17 + 11.46} = -10.70 \text{ MeV}$$

Por tanto:

$$m_{PROTON} = 329,85 + 319,02 + 11,87 - 1,7072 \cdot (162,17 + 11,46 - 10,70) = 938,88 \text{ MeV}$$

Como la masa experimental del protón es: $m_{PROTON} = 938.272 \text{ MeV}$ el error es igual a 0,07%.

Propuesta para el neutrón.**Figura 5.8.** Propuesta para el neutrón

$$m'_1 = \frac{330,89 \cdot 319,02}{330,89 + 319,02} = 162,42 \text{ MeV}$$

$$m'_2 = \frac{330,89 \cdot 11,87}{330,89 + 11,87} = 11,46 \text{ MeV}$$

$$m'_{rep} = -\frac{162,42 \cdot 11,46}{162,42 + 11,46} = -10,70 \text{ MeV}$$

Por tanto:

$$m_{NEUTRÓN} = 330,89 + 319,02 + 11,87 + 1,7072 \cdot (162,42 + 11,46 - 10,70) = 940,35 \text{ MeV}$$

Como la masa experimental del neutrón es: $m_{NEUTRÓN} = 939.56 \text{ MeV}$ el error es igual a 0,08%.

Por supuesto, existen otras posibilidades para el protón, por ejemplo (27,+10;26,-9 ;1,0) en vez de (27,-9;26,+10; 1,0) con una masa de 938,84 MeV y para el neutrón, por ejemplo (27,-10; 25,+10;2,0) en vez de (27,+10 ;26,-10 ;1,0) con una masa de 938,32 MeV. De hecho, como las masas de los dos tipos de partones son de aproximadamente 11-12 MeV siempre podremos encontrar una o varias combinaciones que se ajusten a las masas experimentales, especialmente en las partículas pesadas.

Es importante destacar que existen múltiples combinaciones de ondas posibles, algunas de las cuales serán más estables que otras y posiblemente muchas de ellas coexistan en diferentes porcentajes y en diferentes estados de excitación, particularmente cuando las golpeamos para estudiarlas. Es decir, no solo varía el número total de partones, sino la proporción de partones neutros frente a partones cargados y la distribución de estos partones entre las diferentes ondas, aparte de los posibles estados orbitales (s,p,d,...) esto ocasiona que muchas de estas combinaciones tengan masas muy similares, especialmente si estas son elevadas. No es de extrañar por tanto las graves dificultades que encuentran los físicos de partículas al intentar analizar las colisiones y extraer conclusiones, especialmente a altas energías, ya que se multiplican casi exponencialmente el número de partículas posibles y los choques modifican aún más las partículas estudiadas.

Además, como hemos usado una aproximación clásica para determinar la energía de repulsión existe un error sistemático. Por tanto, necesitamos otras propiedades de las partículas con el fin de obtener la estructura de partones de los mesones y bariones. A lo largo de este trabajo se utilizará el momento magnético intrínseco y la distribución interna de cargas eléctricas y electrofuertes.

5.2. Estabilidad de las soluciones hadrónicas

La multiplicidad de las posibles soluciones hadrónicas se enfrenta a la realidad de las escasas soluciones estables (protón) y cuasiestables (neutrón). Resumiendo ningún mesón es estable, y de todos los bariones solo uno lo es completamente. Veamos las posibles razones:

Hemos visto que todas las soluciones de la ecuación de onda que hemos asignado a la materia son fundamentalmente asimétricas, especialmente el sentido de la onda, aunque también geométricamente. Si exponemos estas ideas gráficamente vemos como la estabilidad está directamente relacionada con la asimetría de la solución. Especialmente el par partícula antipartícula que se convierte rápidamente en fotones.

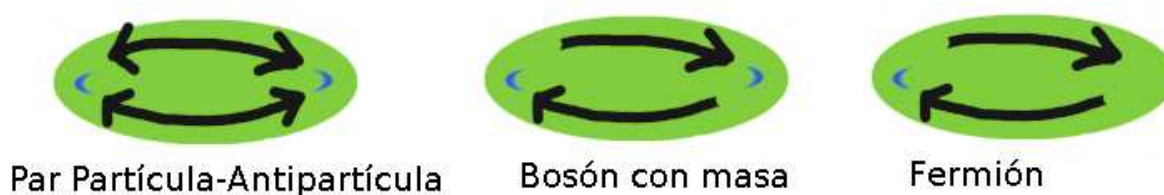


Figura 5.9. Soluciones hadrónicas

Dada la simetría de los mesones (2 ondas iguales, al menos en carga electrofuerte) se puede deducir su inestabilidad, siendo esta mayor cuanto más iguales sean las ondas, es decir, se supone a los mesones cargados una mayor estabilidad.

Por tanto, como ya habíamos visto que en el caso de un número total de partones par, pero divisible entre cuatro, prevalecía por ser de menor masa la solución mesónica podemos descartar como estables la mitad de todas las partículas posibles. Hay que buscar en la asimetría de la solución bariónica las partículas estables.

De entre los bariones la mayor asimetría en la solución se produce cuando la diferencia entre las dos ondas menores es máxima, circunstancia que se ve favorecida energéticamente porque la energía de repulsión entre ellas se hace mínima, ya que al ser el radio de Bohr inversamente proporcional a la masa de la onda se maximiza de esta manera la distancia entre las dos ondas con la misma carga electrofuerte. Por tanto y para fijar ideas si suponemos que la onda mayor está formada por 15 partones (número impar, si no, la solución mesónica prevalecería) se supone que la solución más estable estará formada por una segunda onda de 14 partones y una tercera de 1 solo partón.

Se propone también que de existir partones cargados estos se concentren únicamente en las dos ondas interiores, lo que maximizaría la atracción electromagnética.

Para seguir avanzando debemos considerar la naturaleza de las tres ondas que conforman los bariones. Si por ejemplo decimos que la onda más interna está formada por 7 partones, ¿que queremos decir, que tenemos una sola onda con la amplitud de 7 partones, o que tenemos 7 partones vibrando simultáneamente, pero con una diferencia de fase entre ellos? Es considerando la naturaleza ondulatoria de los hadrones la que nos puede ayudar. Si tenemos una única onda vibrando significa que en algunos momentos la onda desaparece. Es fácil ver la inestabilidad que esto provoca. No sabemos si existe o no la onda única, lo que si podemos ver es que será más estable la suma de ondas desfasadas entre sí regularmente. Por otro lado, al tratarse de ondas con la misma carga (electrofuerte, eléctrica o electrodébil), se minimiza la repulsión entre ellas si presentan una diferencia de fase. Veamos el ejemplo del muón.

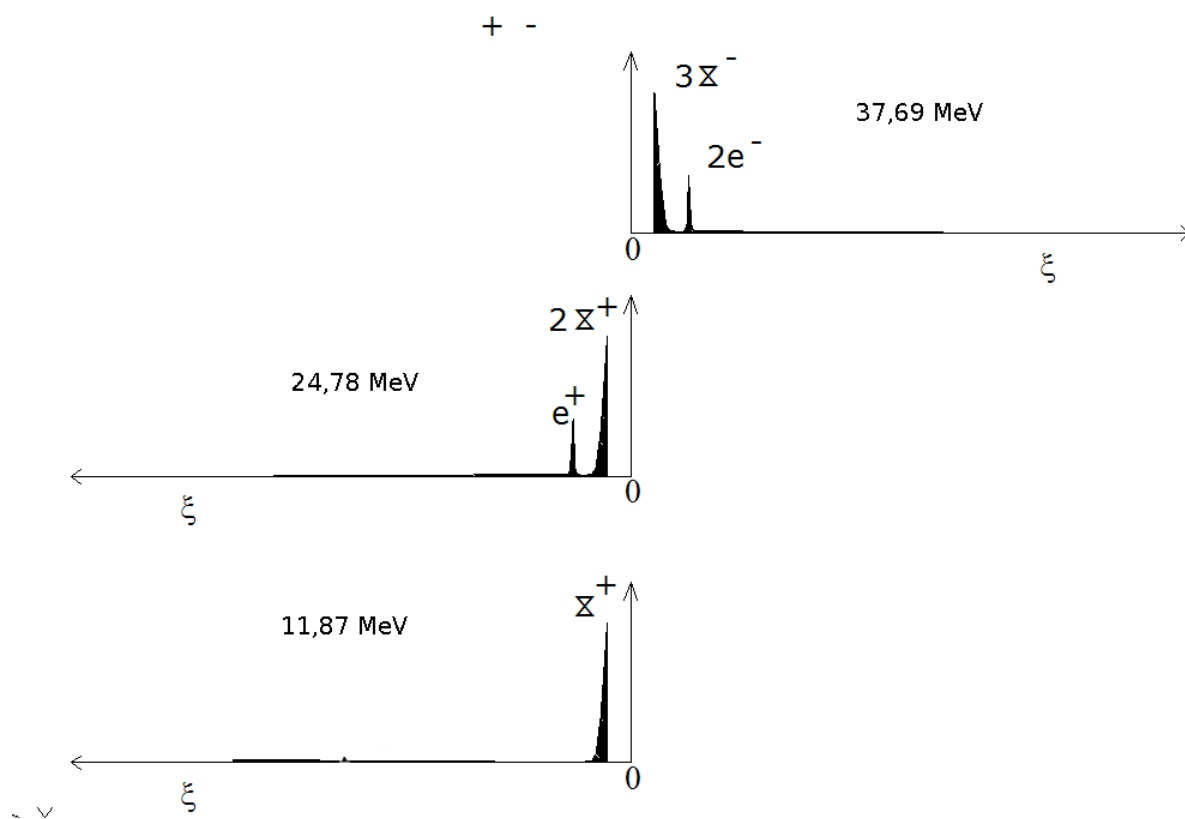


Figura 5.10. Estructura del muón

Consideremos solo las cargas electrofuertes. La onda mayor estará formada por 3 ondas desfasadas regularmente, mientras que la onda intermedia estará formada por 2 ondas.

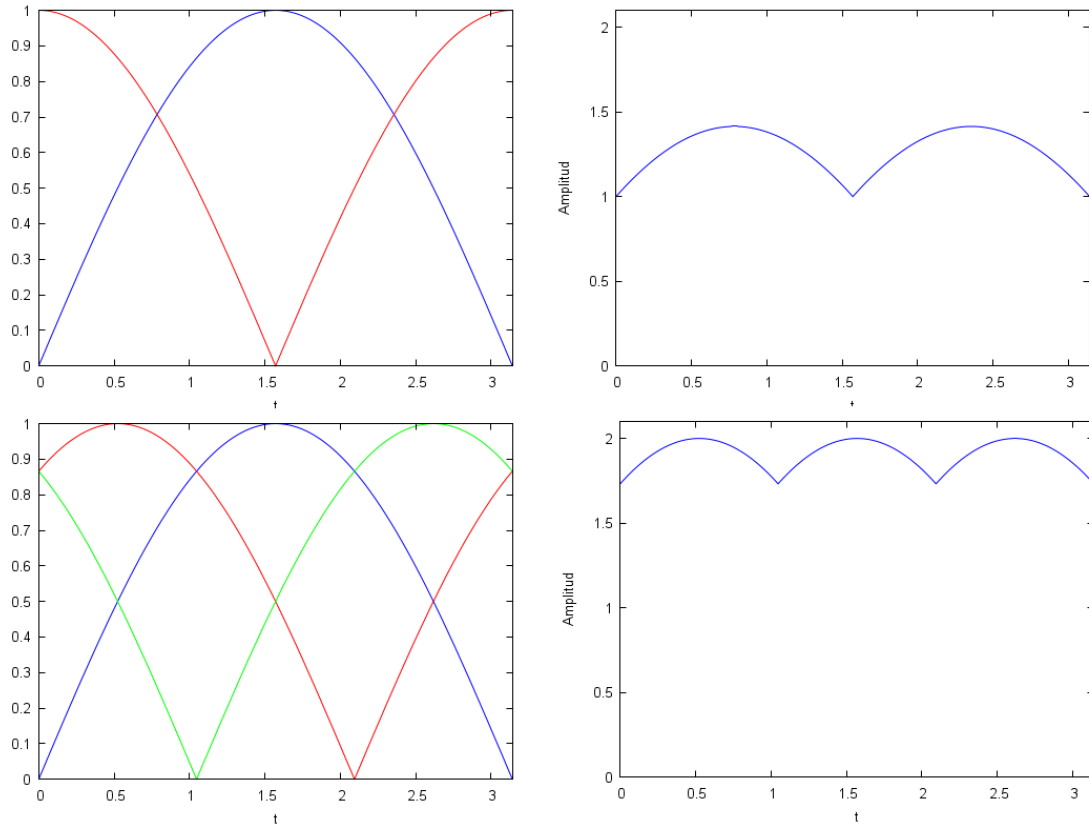


Figura 5.11. Superposición de ondas

Ahora bien, ¿cómo medir la fuerza relativa de su interacción en base al desfase relativo? Se propone integrar en un ciclo el valor del producto de las amplitudes de la onda mayor con la intermedia normalizadas con el número de partones que las conforman. Por sí mismo el producto de esta integral no significa nada, pero permite comparar entre las distintas combinaciones posibles. A este número se le ha llamado factor temporal y cuanto mayor es su valor, mayor estabilidad se le supone a la partícula. Se ha calculado numéricamente esta integral mediante el método de romberg en el programa wxmáxima. En el caso del muón sería:

```
romberg((abs(sin(x))+abs(sin(x+3.14159 / 3))+abs(sin(x+2*3.14159/ 3)))/3
*(abs(sin(x))+abs(sin(x+3.14159 / 2))) / 2, x, 0, 3.14159)
```

Para una estructura con una onda interior formada por 33 partones sería:

```
romberg((abs(sin(x))+abs(sin(x+3.14159 / 33))+abs(sin(x+2*3.14159 / 33))
+abs(sin(x+3*3.14159 / 33))
+abs(sin(x+4*3.14159 / 33))+abs(sin(x+5*3.14159 / 33))+abs(sin(x+6*3.14159 / 33))
+abs(sin(x+7*3.14159 / 33))+.....+abs(sin(x+31*3.14159 / 33))
```

$$\begin{aligned}
& +\text{abs}(\sin(x+32*3.14159 / 32))) / 33*(\text{abs}(\sin(x))+\text{abs}(\sin(x+3.14159 / 32))+ \\
& \text{abs}(\sin(x+2*3.14159 / 32)) \\
& +\text{abs}(\sin(x+3*3.14159 / 32))+\text{abs}(\sin(x+4*3.14159 / 32))+..... \\
& +\text{abs}(\sin(x+30*3.14159 / 32)) \\
& +\text{abs}(\sin(x+31*3.14159 / 32))) / 32 , x, 0, 3.14159)
\end{aligned}$$

Los resultados son:

Ondas	factor temporal
3	1,27337075459704
5	1,27324208473296
7	1,2732381175947
9	1,25683480204061
11	1,27324207477933
13	1,26595842361405
15	1,27323946914797
17	1,26914553955049
19	1,27323847965369
21	1,27061963648021
23	1,27323847942341
25	1,27142009057235
27	1,27323856699641
29	1,27322978974421
31	1,27324377480297
33	1,27323798547965
35	1,27325711660291

Figura 5.12. Factor temporal

que representado gráficamente

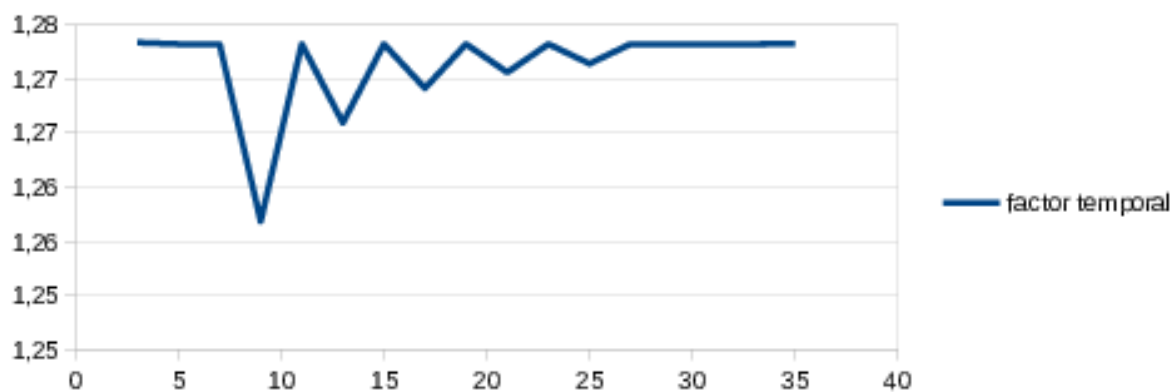


Figura 5.13. Factor temporal

Vemos que de acuerdo a este parámetro las partículas cuya onda más interior está formada por 9,13,17,21 y 25 partones son más inestables, resultando que las partículas más ligeras y aquellas con 27 o más partones son todas igualmente estables.

Pero no hay que considerar solo la coincidencia temporal, sino la coincidencia en el espacio. Si representamos la onda interior y la intermedia para un número de ondas de 3 y de 27 por ejemplo se puede observar claramente.

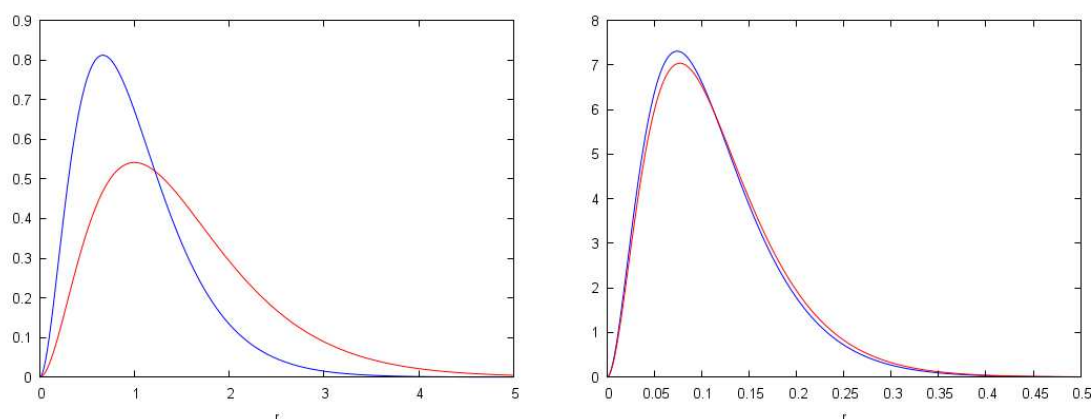


Figura 5.14. Superposición de ondas

Para estudiar su influencia se ha utilizado la raíz cuadrada de la integral del producto de las amplitudes normalizadas al número de partones. (Recordemos que el radio de Bohr es inversamente proporcional a la masa, o sea al número de partones). La he llamado factor de forma y se ha calculado numéricamente por el método de Romberg en wxmaxima. Se pone como ejemplo para un barión con 5 partones en su onda más pesada

$(\text{romberg}(0.5 \cdot 5^3 \cdot x^2 \cdot \exp(-5 \cdot x) \cdot 0.5 \cdot 4^3 \cdot x^2 \cdot \exp(-4 \cdot x) / (5+4), x, 0, 5))^{0.5}$

Se muestran los resultados junto al factor temporal y el producto de ambas:

Ondas	factor temporal	factor forma	producto
3	1,27337075459704	0,2879999729	0,3667307428
5	1,27324208473296	0,3005336435	0,3826520827
7	1,2732381175947	0,303472613	0,3863928985
9	1,25683480204061	0,304598394	0,3828298622
11	1,27324207477933	0,3051453773	0,3885239332
13	1,26595842361405	0,305451665	0,3866891084
15	1,27323946914797	0,3056402697	0,3891532548
17	1,26914553955049	0,3057645724	0,3880597432
19	1,27323847965369	0,3058507994	0,3894210069
21	1,27061963648021	0,3059130554	0,3886991352
23	1,27323847942341	0,3059660594	0,3895677603
25	1,27142009057235	0,3059949512	0,3890481285
27	1,27323856699641	0,3060227298	0,389639942
29	1,27322978974421	0,3060448689	0,3896654441
31	1,27324377480297	0,3060627979	0,3896925522
33	1,27323798547965	0,3060775207	0,3897095258
35	1,27325711660291	0,3060897587	0,3897309636

Figura 5.15. Factor de estabilidad conjunto

que representado gráficamente nos muestra que existe una estabilidad creciente hasta un número

de partones en la onda más pesada igual a 25 - 27, a partir del cual es indiferente:

Luego los bariones de menor masa estable serán los de 25-27 partones en la onda inferior. O sea, protones y neutrones. En cuanto al porcentaje de partones cargados y neutros no he encontrado ninguna razón para que la relación más estable sea 1/3 cargados, 2/3 neutros, salvo la obvia de separar los partones cargados con dos neutros. La asimetría relativa del protón frente al neutrón le beneficia en cuanto a estabilidad.

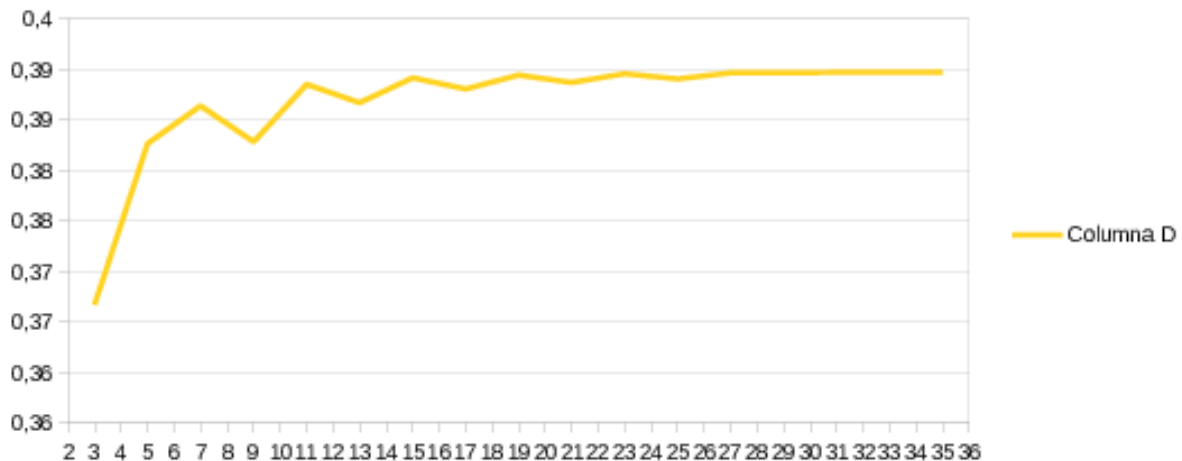


Figura 5.16. Factor de estabilidad conjunto

5.3. Momento magnético intrínseco de los hadrones

Es posible aproximar el momento magnético de un hadrón simplemente sumando los momentos magnéticos de todas y cada una de las ondas que componen los hadrones. Intentaremos primero el caso de los mesones porque son más simples que los bariones.

5.3.1. El mesón π

π^0 Ambas ondas son iguales, por lo que el momento magnético es nulo. π^+

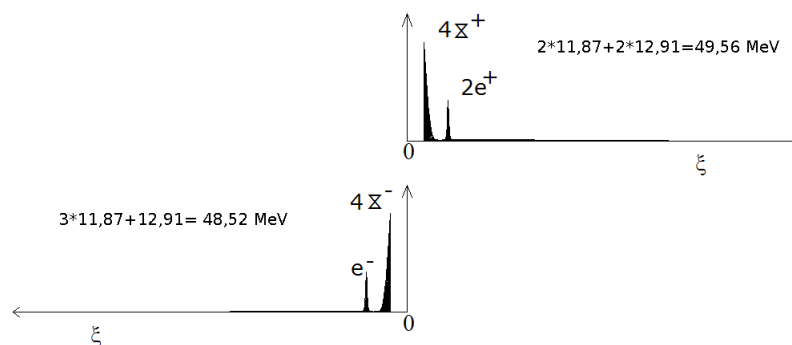


Figura 5.17. Propuesta para el π^+

Luego:

$$m'_1 = \frac{49,56 \cdot 48,52}{49,56 + 48,52} = 24,5172 \text{ MeV} \rightarrow m_{\pi^0} = 49,56 + 48,52 + 1,7078 \cdot 24,5172 = 139,93 \text{ MeV}$$

Podemos asignar la energía de enlace de manera proporcional, así que tendremos dos ondas con las siguientes propiedades.

Onda 1: Masa 70,7090 MeV Carga 2e+

Onda 2: Masa 69,2252 MeV Carga e-

El momento magnético sera:

$$\mu_1 = \frac{2e \cdot \hbar}{2m_1} = \frac{2 \cdot 1.60210^{-19} \cdot 1.05410^{-34}}{2 \cdot 70,7090 \cdot 1,7810^{-30}} = 1,342410^{-25} \text{ J/T}$$

$$\mu_2 = \frac{e \cdot \hbar}{2m_1} = \frac{1.60210^{-19} \cdot 1.05410^{-34}}{2 \cdot 69,2252 \cdot 1.7810^{-30}} = -6,856010^{-26} \text{ J/T}$$

$$\mu = \mu_1 + \mu_2 = 1,342410^{-25} - 6,856010^{-26} = 6,5710^{-26} \text{ J/T}.$$

Experimentalmente se considera que ambos piones tienen momento magnético nulo. Un "pión bariónico" con estructura **+4.+2:-2.-1:-2.0** en vez de la expuesta anteriormente **+4.+2:-4.-1:0** proporcionaría una masa correcta y un momento magnético nulo, pero no cumpliría con los factores de forma obtenidos experimentalmente y que desarrollaremos más adelante. De hecho existen al menos tres combinaciones que cumplen con la masa del pión:

Tipo	Estructura	Masa	M. magnético	Ajusta con factor de forma
Mesón	+4.+2:-4.-1:0	139,93 MeV	$6,57 \cdot 10^{-26} \text{ J / T}$	SI
Barión	+4.+2:-2.-1:-2.0	139,79 MeV	0	NO
Barión	+4.+2:-3.-1:-1.0	139,16 MeV	$4,59 \cdot 10^{-26} \text{ J / T}$	SI

Cada una de ellas sólo cumple parcialmente los datos experimentales, lo que puede explicarse simplemente considerando que los piones pueden oscilar entre estas estructuras y en los diferentes experimentos prevalecen diferentes estructuras. No obstante, el hecho de no disponer actualmente de una estructura completamente satisfactoria para una partícula en concreto no implica la falsedad de la hipótesis aquí expuesta en su conjunto. En este trabajo se considerará al pión cargado como si tuviese una estructura mesónica.

5.3.2. El mesón ρ^+

De acuerdo al sistema multilinear de Palazzi los mesones rho están compuestos de igual número de partones cargados y neutros, luego debería tener esta composición:

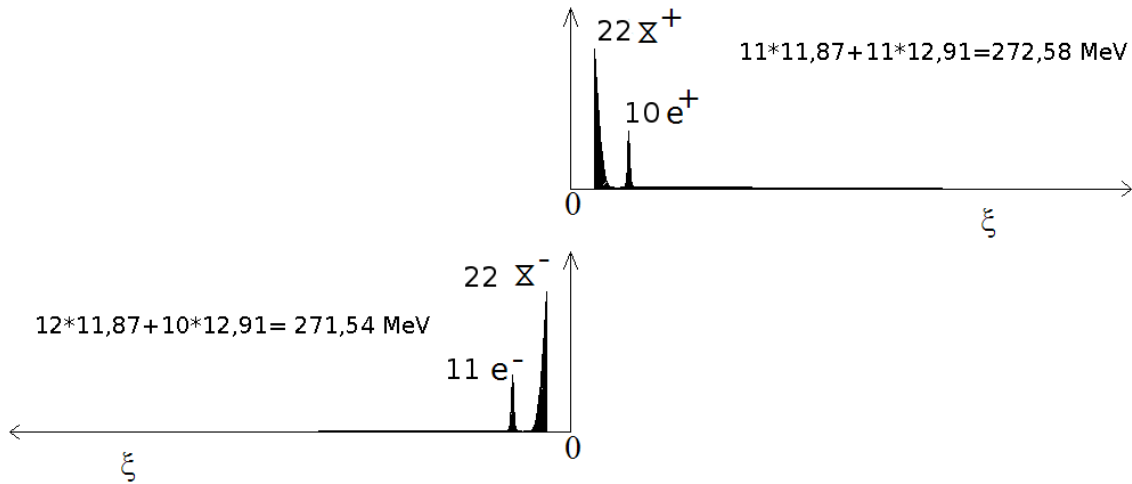


Figura 5.18. Propuesta para el mesón ρ^+

$$m'_1 = \frac{272,58 \cdot 271,54}{272,58 + 271,54} = 136,03 \text{ MeV} \rightarrow m_\rho = 272,58 + 271,54 + 1,7078 \cdot 136,03 = 776,34 \text{ MeV}$$

La masa experimental es de 775,4 MeV, lo que supone un error de 0,12 %. Podemos asignar la energía de enlace de una manera proporcional a su masa, luego tendremos dos ondas con las siguientes propiedades:

Onda 1: Masa 388,9119 MeV Carga 11e-

Onda 2: Masa 387,4281 MeV Carga 10e+

El momento magnético será:

$$\mu_1 = \frac{11e \cdot \hbar}{2m_1} = \frac{11 \cdot 1.60210^{-19} \cdot 1.05410^{-34}}{2 \cdot 388,9119 \cdot 1.7810^{-30}} = -1.342410^{-25} \text{ J/T}$$

$$\mu_2 = \frac{10e \cdot \hbar}{2m_2} = \frac{10 \cdot 1.60210^{-19} \cdot 1.05410^{-34}}{2 \cdot 387,4281 \cdot 1.7810^{-30}} = 1,225^{-25} \text{ J/T}$$

$$\mu_\rho = \mu_1 + \mu_2 = 1,342410^{-25} - 1,22510^{-25} = -1,1710^{-26} \text{ J/T}.$$

En [22] García Gudiño y Toledo Sánchez obtuvieron un valor experimental de $-1,2910^{-26} \text{ J/T}$, lo que supone un error del 8%. Ahora, intentemos el caso de los bariones.

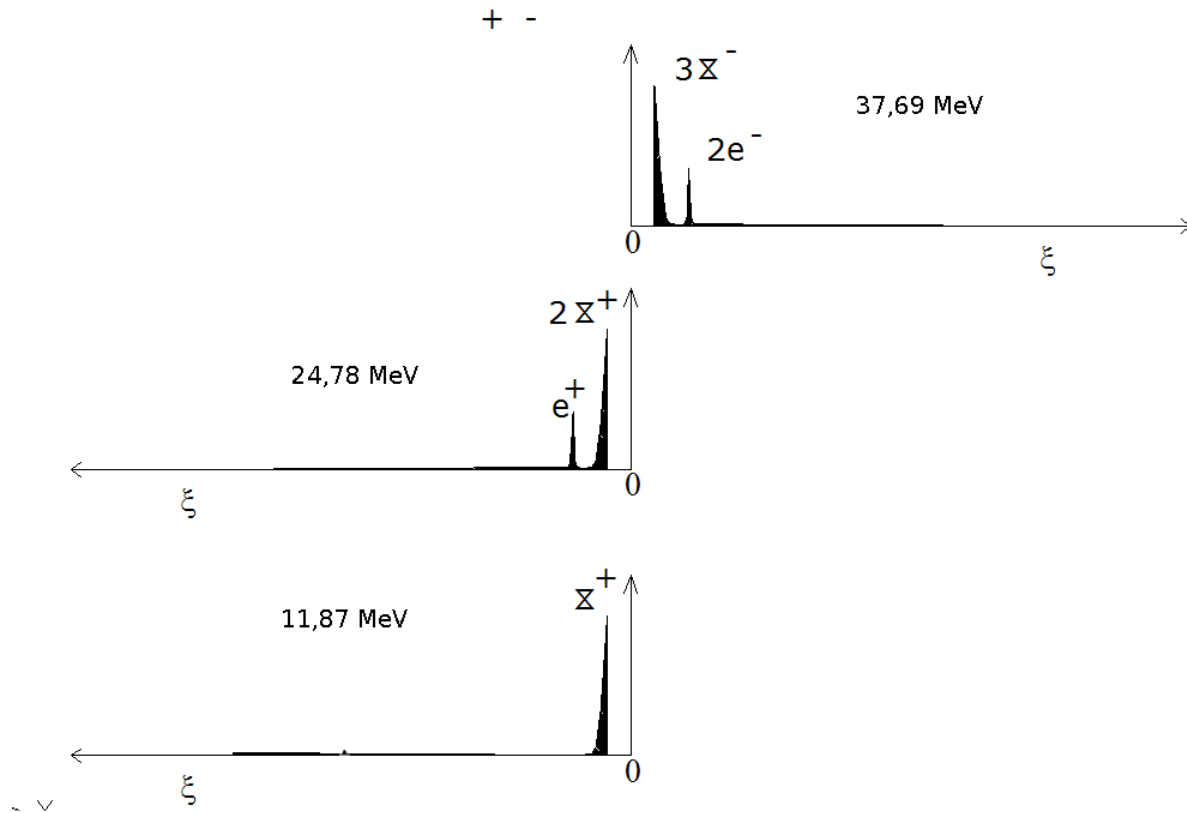
5.3.3. El muón⁻

Figura 5.19. Propuesta para el muón

$$m'_1 = \frac{37,69 \cdot 24,78}{37,69 + 24,78} = 14,95 \text{ MeV}$$

$$m'_2 = \frac{37,69 \cdot 11,87}{37,69 + 11,87} = 9,027 \text{ MeV}$$

$$m'_{rep} = -\frac{14,95 \cdot 9,027}{14,95 + 9,027} = -5,6285 \text{ MeV}$$

Por tanto:

$$m_\mu = 37,69 + 24,78 + 11,87 + 1,7072 \cdot (14,95 + 9,027 - 5,6285) = 105,6641 \text{ MeV}$$

Podemos asignar la energía de enlace de una manera proporcional a su masa, luego tendremos tres ondas con las siguientes propiedades:

Onda 1: Masa 33,3452 MeV Carga $1e^+$

Onda 2: Masa 50,7175 MeV Carga $2e^-$

Onda 3: Masa 15,8096 MeV Carga 0

El momento magnético será:

$$\mu_1 = \frac{2e \cdot \hbar}{2m_1} = \frac{2 \cdot 1.60210^{-19} \cdot 1.05410^{-34}}{2 \cdot 50,7175 \cdot 1.7810^{-30}} = -1,871610^{-25} J/T$$

$$\mu_2 = \frac{e \cdot \hbar}{2m_2} = \frac{1.60210^{-19} \cdot 1.05410^{-34}}{2 \cdot 33,3452 \cdot 1.7810^{-30}} = 1,4233^{-25} J/T$$

$$\mu_\mu = \mu_1 + \mu_2 = -1,871610^{-25} + 1,423310^{-25} = -4,4810^{-26} J/T.$$

Como el valor experimental es de $-4,49 \cdot 10^{-26} J/T$ el error es del 0,16%.

5.3.4. El protón

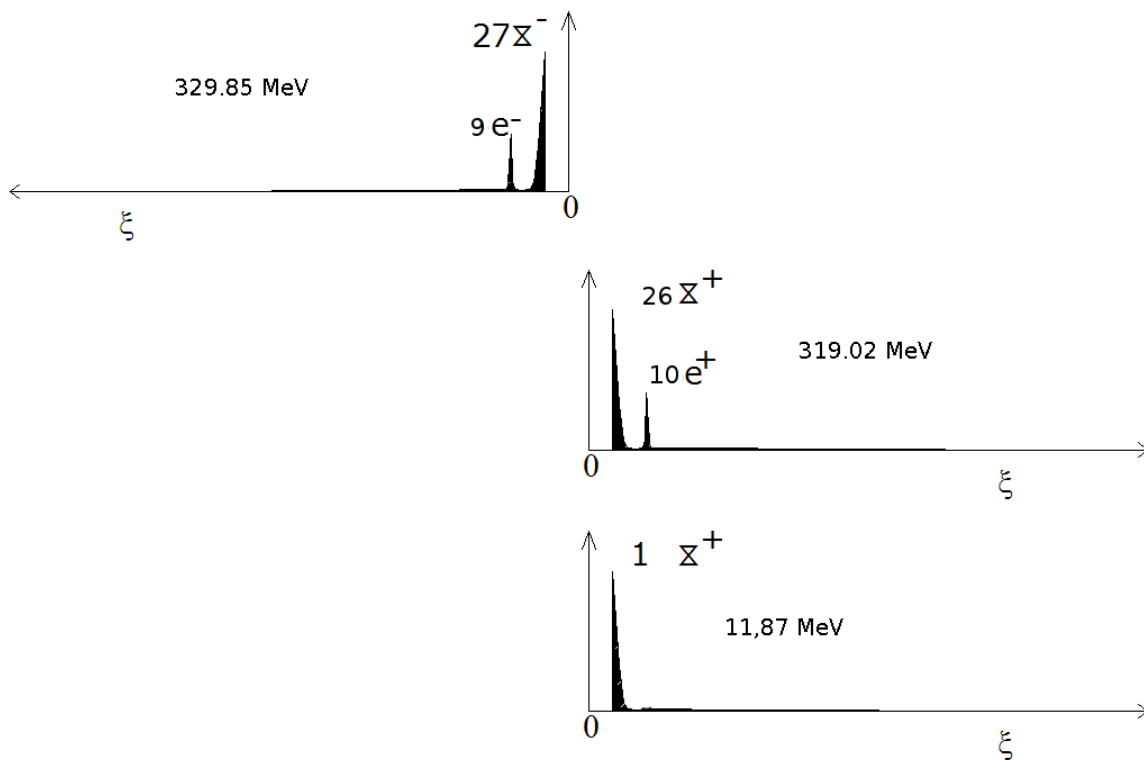


Figura 5.20. Propuesta para el protón

Las masas reducidas serán:

$$m'_1 = \frac{329,85 \cdot 319,02}{329,85 + 319,02} = 162,17 MeV$$

$$m'_2 = \frac{329,85 \cdot 11,87}{329,85 + 11,87} = 11,46 \text{ MeV}$$

$$m'_{rep} = -\frac{162,17 \cdot 11,46}{162,17 + 11,46} = -10,70 \text{ MeV}$$

Por tanto:

$$m_{\text{PROTÓN}} = 329,85 + 319,02 + 11,87 - 1,7072 \cdot (162,17 + 11,46 - 10,70) = 938,88 \text{ MeV}$$

Si asignamos la energía de enlace proporcionalmente a la masa, tendremos tres ondas con las siguientes propiedades:

Onda 1: Masa 463,3587 MeV Carga 9e-

Onda 2: Masa 448,1452 MeV Carga 10e+

Onda 3: Masa 15,7841 MeV Carga 0 e.

El momento magnético será:

$$\mu_1 = \frac{9e \cdot \hbar}{2m_1} = \frac{9 \cdot 1.60210^{-19} \cdot 1.05410^{-34}}{2 \cdot 463,3587 \cdot 1.7810^{-30}} = -9.218510^{-26} \text{ J/T}$$

$$\mu_2 = \frac{10e \cdot \hbar}{2m_2} = \frac{10 \cdot 1.60210^{-19} \cdot 1.05410^{-34}}{2 \cdot 448,1452 \cdot 1.7810^{-30}} = 1.059110^{-25} \text{ J/T}$$

$$\mu_p = \mu_1 + \mu_2 = -9.218510^{-26} + 1.059110^{-25} = 1.3710^{-26} \text{ J/T}.$$

El valor experimental es $1,4110^{-26} \text{ J/T}$, lo que supone un error del 2,69%

5.3.5. El neutrón

La primera propuesta que se hizo en el punto anterior era -27.-10:+26.+10:+1.0, la cual proporciona un valor del momento magnético de $3,8010 \cdot 10^{-27} \text{ J/T}$, lo que supone un error de aproximadamente un 60%, inadmisibile, por lo que se propone una nueva estructura.

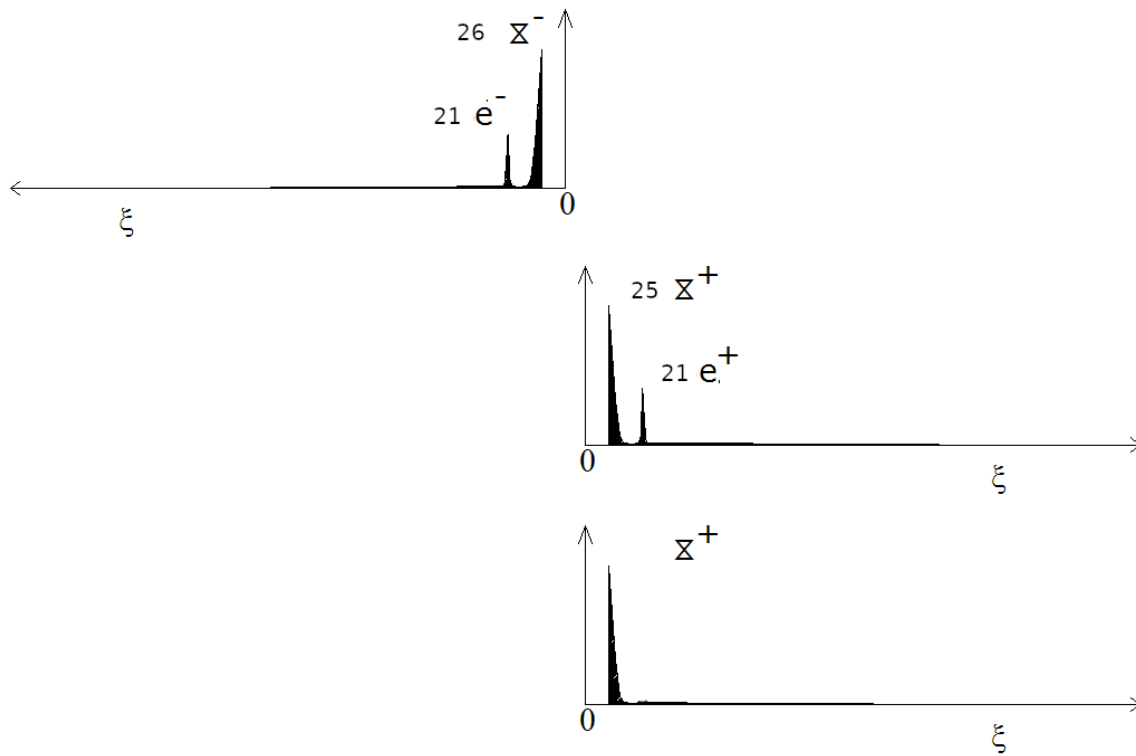


Figura 5.21. Propuesta modificada para el neutrón

Las masas reducidas serán

$$m'_1 = \frac{330,46 \cdot 318,59}{330,46 + 318,59} = 162,21 MeV$$

$$m'_2 = \frac{330,46 \cdot 11,87}{330,46 + 11,87} = 11,46 MeV$$

$$m'_{rep} = -\frac{162,21 \cdot 11,87}{162,21 + 11,87} = -10,70 MeV$$

Por tanto:

$$m_{NEUTRÓN} = 330,46 + 318,59 + 11,87 + 1,7072 \cdot (162,21 + 11,46 - 10,70) = 939,12 MeV$$

Lo que supone un error del 0,0467%, mejorando apreciablemente la estimación anterior.

Si asignamos la energía de enlace proporcionalmente a las masa, tendremos tres ondas con las siguientes propiedades:

Onda 1: Masa 464,2094 MeV Carga $21e^-$.

Onda 2: Masa 447,5352 MeV Carga $10e^+$.

Onda 3: Masa 15,7839 MeV Carga 0 e.

El momento magnético será:

$$\mu_1 = -\frac{21e \cdot \hbar}{2m_1} = \frac{-21 \cdot 1.60210^{-19} \cdot 1.05410^{-34}}{2 \cdot 464,2094 \cdot 1.7810^{-30}} = -2,14710^{-25} J/T$$

$$\mu_2 = \frac{21e \cdot \hbar}{2m_2} = \frac{21 \cdot 1.60210^{-19} \cdot 1.05410^{-34}}{2 \cdot 447,5352 \cdot 1.7810^{-30}} = 2,22704^{-25} J/T$$

$$\mu_{\%p} = \mu_1 + \mu_2 = -2,14710^{-25} + 2,2270410^{-25} = 8,0010^{-27} J/T.$$

El valor experimental es de $-9.6 \cdot 10^{-27}$, lo que supone un error del 16,68%. Es importante destacar que la estructura que mejor se adapta en el caso del neutrón se corresponde con un número par de partones en la onda mayor, contradiciendo nuestra primera hipótesis que asignaba a las ondas mayores pares como generadoras de mesones y a las impares como generadoras de bariones.

5.4. Ajuste de las masas de los partones

Podemos intentar asignar una estructura tentativa para las partículas cuyas masas y momentos magnéticos sean bien conocidos, es decir, los bariones relativamente más estables. Se ha establecido como criterio un error máximo del 3% en las estimaciones de masas y momentos. Como excepción en el neutrón se ha primado la masa sobre el momento debido a que con esa configuración presenta el mismo tamaño que el protón, lo que resulta imprescindible para la estimación correcta de la fuerza nuclear fuerte residual. Los resultados se muestran a continuación,

Partícula	Onda 1		Onda 2		Onda 3		%carg	mtotal	m exp	Error %	μ	Experimental	Error%
μ	3	2	2	1	1	0	50%	105,66	105,66	0,01	-4,48E-26	-4,49E-26	-0,17
n	26	21	25	21	1	0	81%	939,12	939,56	-0,05	8,00E-27	9,60E-27	-16,67
p^+	27	9	26	10	1	0	35%	938,88	938,27	0,07	1,37E-26	1,41E-26	-2,72
Λ	32	12	31	12	1	0	38%	1115,47	1115,68	-0,02	-3,22E-27	-3,10E-27	3,93
Σ^+	33	20	32	21	1	0	62%	1174,54	1189,37	-1,25	1,28E-26	1,24E-26	3,06
Σ^-	35	9	34	8	1	0	24%	1206,62	1197,45	0,77	-5,94E-27	-5,86E-27	1,42
Ξ^0	36	33	35	33	1	0	92%	1313,14	1314,86	-0,13	6,35E-27	6,31E-27	0,57
Ξ^-	37	20	36	19	1	0	53%	1306,94	1321,71	-1,12	3,30E-27	3,28E-27	0,60
Ω^-	45	37	44	38	1	0	83%	1631,19	1672,45	-2,47	1,02E-26	1,02E-26	-0,59

Figura 5.22. Propuestas para los bariones

Podemos destacar las siguientes características:

- Las partículas con un número par de partones en la onda mayor son neutras eléctricamente, mientras que las que presentan un número impar tienen carga eléctrica
- Aparentemente la estabilidad no está relacionada con una proporción determinada de partones pesados o ligeros, sino que más bien los bariones estables se concentran alrededor de determinados valores de masa
- Es posible obtener los primeros valores de *masa estable* con una simple serie geométrica de

base el protón y constante 1,08810049708318.

Partículas	Serie	masa	Error %
p,n	938,92	938,92	
	1021,63		
Λ (1115)	1111,64	1115,47	-0,34 %
$\Sigma^0, \Sigma^-, \Sigma^+$	1209,58	1193,15	1,38 %
Ξ^-, Ξ^0	1316,14	1317,96	-0,14 %
N(1440)	1432,09	1440,00	-0,55 %
$\Sigma(1560)$	1558,26	1560,00	-0,11 %
$\Omega^-, \Sigma, \Xi, \Lambda(1690)$	1695,55	1690,00	0,33 %
$\Sigma(1775), \Lambda(1800), \Xi(1820)$	1844,92	1799,33	2,53 %

Figura 5.23. Valores de masa estables

- Existe una relación clara entre el error másico (en porcentaje) y el tanto por uno de partones pesados.



Figura 5.24. % error másico vs proporción de partones pesados

El gráfico anterior sugiere que la masa del partón pesado puede ser mayor que la estimada anteriormente. Para sondear esta idea se ha vuelto a ajustar la masa de los dos partones utilizando solo los bariones con momento magnético conocido y descartando el neutrón y la partícula Ξ_0 debido a que no se encuentran en la secuencia principal. También se ha descartado el muón porque su escasa masa impide que pueda utilizarse la aproximación habitual para estimar su masa, como veremos más adelante.

Las nuevas estimaciones de masa y las nuevas cargas electrofuertes han sido:

- Partón ligero: $11,5870 \text{ MeV} \rightarrow 1,665 \cdot 10^{-18} \text{ C}$
- Partón pesado: $13,4098 \text{ MeV} \rightarrow 1,857 \cdot 10^{-18} \text{ C}$

Sorprendentemente la carga electrofuerte del partón pesado es prácticamente igual a la carga de

Planck ($1,8755 \cdot 10^{-18} \text{ C}$)

Con estas nuevas masas (que podemos seguir llamando de Palazzi igualmente) se ha ajustado la composición de partones del neutrón y de la partícula Ξ_0 resultando:

Partícula	Onda 1		Onda 2		Onda 3		%carg	mtotal	m exp	Error %	μ	Exp.	Error%
μ	3	2	2	1	1	0	50%	106,47	105,66	0,76	-4,26E-26	-4,49E-26	-5,15
n	25	23	24	23	1	0	92%	942,44	939,56	0,31	8,48E-27	9,60E-27	-11,65
$p+$	27	9	26	10	1	0	35%	938,38	938,27	0,01	1,34E-26	1,41E-26	-5,04
Λ	32	12	31	12	1	0	38%	1116,51	1115,68	0,07	-3,13E-27	-3,10E-27	1,17
$\Sigma+$	33	19	32	20	1	0	59%	1188,56	1189,37	-0,07	1,19E-26	1,24E-26	-3,74
$\Sigma-$	35	9	34	8	1	0	24%	1197,42	1197,45	0,00	-5,89E-27	-5,86E-27	0,47
$\Xi 0$	35	31	34	31	1	0	89%	1314,40	1314,86	-0,03	5,81E-27	6,31E-27	-8,02
$\Xi-$	37	20	36	19	1	0	53%	1320,69	1321,71	-0,08	3,15E-27	3,28E-27	-3,93
$\Omega-$	45	36	44	37	1	0	81%	1673,50	1672,45	0,06	9,30E-27	1,02E-26	-9,04

Figura 5.25. Nueva propuesta para los bariones

Es de observar que ahora la única partícula que presenta un número par de partones en la primetra onda es el barión lambda. La estimación de la masa del muón es con diferencia la peor, pero dado que se trata de una partícula muy ligera, es muy posible que la aproximación utilizada para la energía de enlace $E_{\text{enlace}} = 1,7072mc^2$ no sea adecuada. En efecto suponiendo una carga electrofuerte media de las ondas externas de $1,5 \cdot 1,863 \cdot 10^{-18} \text{ C}$ nos queda:

$$\alpha' = \frac{3 \cdot 1,5 \cdot (1,86310^{-18})^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} = 4,4247$$

lo que proporciona un valor de $l'=3,952$ y por tanto $E_{\text{enlace}} = 1,6666mc^2$

Para el neutrón y el protón la energía de enlace sería de $1,70679mc^2$ y $1,70684mc^2$, por lo que la aproximación utilizada es correcta. Solo tenemos que corregir por tanto la estimación del muón:

Partícula	Onda 1		Onda 2		Onda 3		%carg	mtotal	m exp	Error %	μ	Experimental	Error%
μ	3	2	2	1	1	0	50%	105,72	105,66	0,06	-4,29E-026	-4,49E-026	-4,44
n	25	23	24	23	1	0	92%	942,38	939,56	0,30	8,48E-027	9,60E-027	-11,64
$p+$	27	9	26	10	1	0	35%	938,33	938,27	0,01	1,34E-026	1,41E-026	-5,03
Λ	32	11	31	11	1	0	34%	1111,32	1115,68	-0,39	-2,90E-027	-3,10E-027	-6,38
$\Sigma+$	33	19	32	20	1	0	59%	1188,56	1189,37	-0,07	1,19E-026	1,24E-026	-3,74
$\Sigma-$	35	10	34	9	1	0	27%	1202,62	1197,45	0,43	-5,61E-027	-5,86E-027	-4,24
$\Xi 0$	35	31	34	31	1	0	89%	1314,40	1314,86	-0,03	5,81E-027	6,31E-027	-8,02
$\Xi-$	37	20	36	19	1	0	53%	1320,69	1321,71	-0,08	3,15E-027	3,28E-027	-3,93
$\Omega-$	45	36	44	37	1	0	81%	1673,50	1672,45	0,06	9,30E-027	1,02E-026	-9,04

Figura 5.26. Nueva propuesta para los bariones

Es destacable que las estimaciones de masa tienen un error medio de 0,22 %, las estimaciones de los momentos magnéticos son casi siempre por defecto y tienen un error medio de aproximadamente el 6%. Estos errores además están fuertemente relacionados con el porcentaje de partones ligeros-pesados, con un $R^2 = 0,59$, lo que sugeriría un error sistemático debido probablemente a una deficiente estimación del momento total más bien que a un defecto de la hipótesis pro-

puesta.

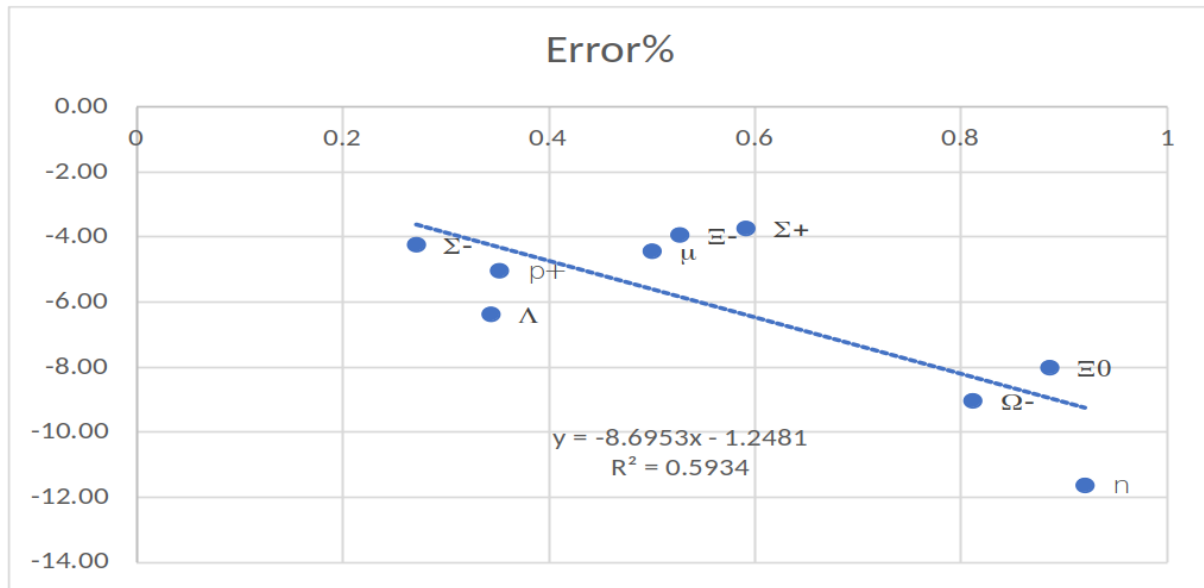


Figura 5.27. % error m. magnético vs proporción de partones pesados

Por simple tanteo se ha descubierto en los bariones que si asignamos las masas de cada onda proporcionalmente a su número de partones se puede conseguir una estimación del momento magnético correcta. Por ejemplo, en el caso del muón con una masa experimental de 105,658 MeV tendremos una estructura teórica de:

Onda 1: 3 partones, 2 cargados.

$$m_1 = 105,658 \cdot \frac{3}{3+2+1} = 52,829 \text{ MeV} \rightarrow \mu_1 = \frac{-2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot \hbar}{2 \cdot 52,829 \cdot 1,78 \cdot 10^{-30}} = -1,7968 \cdot 10^{-25}$$

Onda 2: 2 partones, 1 cargado.

$$m_1 = 105,658 \cdot \frac{2}{3+2+1} = 35,2193 \text{ MeV} \rightarrow \mu_1 = \frac{-1 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot \hbar}{2 \cdot 35,2193 \cdot 1,78 \cdot 10^{-30}} = 1,34758 \cdot 10^{-25}$$

Onda 3: 1 partón sin carga. $\mu_3 = 0$

$$\text{Luego } \mu = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 = -1,7968 \cdot 10^{-25} + 1,34758 \cdot 10^{-25} + 0 = -4,4992 \cdot 10^{-26}$$

Por lo que el error disminuye desde el 4,18% hasta el 0,03%.

Aplicando el nuevo método para estimar el momento magnético y reajustando el porcentaje de partones cargados-neutros en los bariones Ξ_0, Ξ^- y Σ^+ los errores disminuyen apreciablemente hasta una media de 0,43% en la estimación de las masas y un 1,14% en los momentos magnéticos:

Partícula	Onda 1		Onda 2		Onda 3		%carg	mtotal	m exp	Error %	μ	Exp.	Error%
μ	3	2	2	1	1	0	50%	105,72	105,66	0,06	-4,49E-026	-4,49E-026	0,03
n	25	23	24	23	1	0	92%	942,38	939,56	0,30	9,68E-027	9,66E-027	0,20
p+	27	9	26	10	1	0	35%	938,33	938,27	0,01	1,40E-026	1,41E-026	-0,70
Λ	32	11	31	11	1	0	34%	1111,32	1115,68	-0,39	-3,02E-027	-3,10E-027	-2,49
Σ^+	33	17	32	18	1	0	53%	1178,16	1189,37	-0,94	1,25E-026	1,24E-026	0,44
Σ^-	35	10	34	9	1	0	27%	1202,62	1197,45	0,43	-5,83E-027	-5,86E-027	-0,52
Ξ^0	35	30	34	30	1	0	86%	1309,20	1314,86	-0,43	6,37E-027	6,31E-027	0,89
Ξ^-	37	21	36	20	1	0	55%	1325,89	1321,71	0,32	3,19E-027	3,28E-027	-2,78
Ω^-	45	36	44	37	1	0	81%	1673,50	1672,45	0,06	1,04E-026	1,02E-026	2,21

Figura 5.28. Propuesta definitiva para los bariones

La bondad de la aproximación se resalta si representamos el error en la medida experimental de los momentos frente a los errores teóricos obtenidos con la estimación utilizada en este trabajo, donde puede observarse una alta correlación.

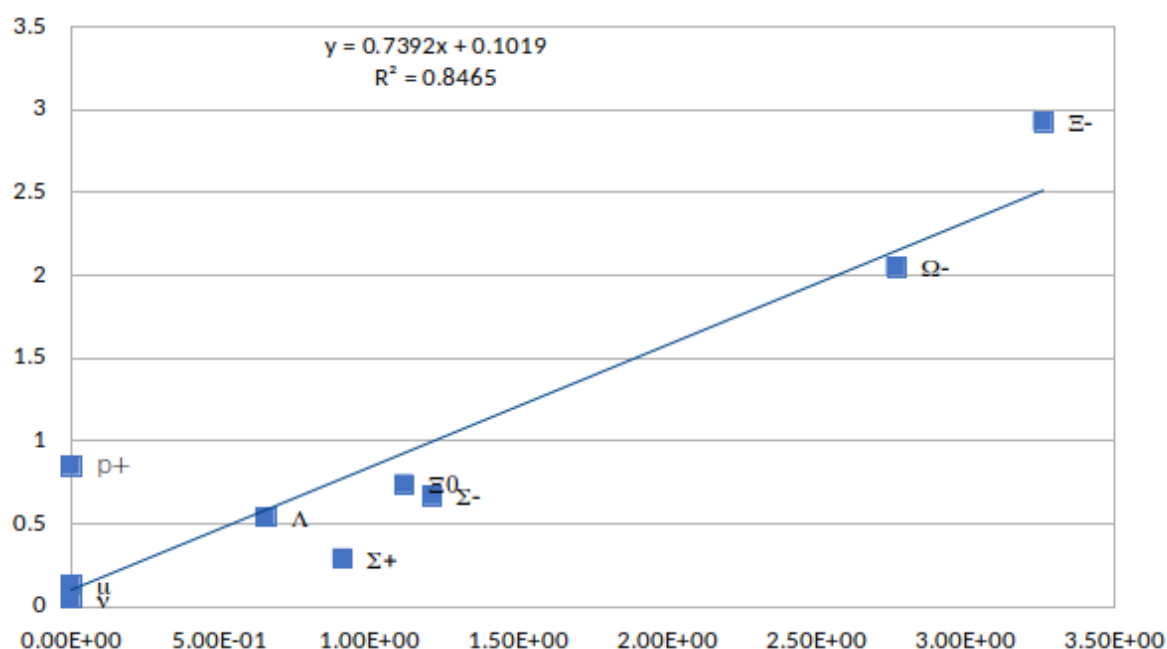


Figura 5.29. Relación entre los errores teóricos y experimentales