

# Introducción a la Astrofísica Relativista

## Práctica 2: partículas elementales

1. Mostrar que para que el protón tenga carga eléctrica  $Q_p = +1$  y el neutrón carga  $Q_n = 0$ , es necesario que el quark  $u$  tenga  $Q_u = +2/3$  y el quark  $d$ ,  $Q_d = -1/3$ .
2. El muón decae según  $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$ . Verificar conservación de la carga y el número leptónico. ¿Por qué no puede ocurrir simplemente  $\mu^- \rightarrow e^-$ ?
3. Analizar la reacción  $p + p \rightarrow p + p + \pi^+ + \pi^-$  en términos de quarks, y mostrar que tanto la carga como el número bariónico se conservan. Hacer el mismo análisis para  $p + p \rightarrow p + \Sigma^+ + K^0$ .
4. Analizar en términos de carga, número bariónico y/o leptónico si son posibles las siguientes reacciones. Para aquellas reacciones que no sean posibles, sugerir una posible modificación para que sí lo sean.
  - a)  $p + p \rightarrow p + p + n$
  - b)  $p + n \rightarrow \pi^+ + \pi^0$
  - c)  $p + \pi^+ \rightarrow p + p$
  - d)  $p + p \rightarrow p + \pi^+$
  - e)  $e^+ + e^- \rightarrow \pi^0$
  - f)  $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$
  - g)  $\gamma + \gamma \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$
  - h)  $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$
  - i)  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_\mu$
5. El decaimiento  $\beta^-$  es una forma de decaimiento radiactivo en la que un núcleo de número atómico  $Z$  se transforma en otro de número atómico  $Z + 1$ , con la emisión de un electrón. A finales de la década de 1920 (cuando aún no se conocía la existencia del neutrón), quedó claro a partir de los experimentos que el espectro de energías de los electrones emitidos en el decaimiento  $\beta^-$  era continuo, como se muestra en la Figura 1, y no monoenergético como se esperaba.
  - a) ¿Por qué se esperaba que el espectro de  $e^-$  fuera monoenergético? ¿Qué problema plantean los resultados experimentales?
  - b) La solución a este enigma fue propuesta por W. Pauli en 1930, quien en una carta dirigida a sus colegas reunidos en un congreso, decía:

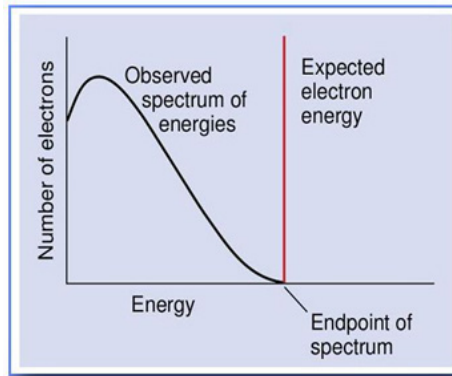


Figura 1: Distribución en energía de los electrones emitidos en el decaimiento  $\beta$ .

*Dear Radioactive Ladies and Gentlemen,*

*As the bearer of these lines, to whom I graciously ask you to listen, will explain to you in more detail, how because of the "wrong" statistics of the N and Li6 nuclei and the continuous beta spectrum, I have hit upon a desperate remedy to save the "exchange theorem" of statistics and the law of conservation of energy. Namely, the possibility that...*

*[. . .] Thus, dear radioactive people, look and judge. Unfortunately, I cannot appear in Tübingen personally since I am indispensable here in Zurich because of a ball on the night of 6/7 December. With my best regards to you, and also to Mr Back.*

*Your humble servant,*

*W. Pauli*

¿Cómo se explica hoy el decaimiento  $\beta$  y el espectro continuo de los electrones?

6. Considerar la reacción  $p + \gamma \rightarrow \Delta^+ \rightarrow n + \pi^+$ . ¿Cómo es posible que a partir de esta reacción se produzcan leptones, incluyendo neutrinos? La partícula  $\Delta^+$  tiene el mismo contenido de quarks que el protón. ¿En qué se diferencia, entonces, de un protón?
7. Usando la parametrización sencilla del apunte, calcular en forma clásica la energía necesaria para separar dos quarks a una distancia de 1 m. Notar que antes de que la separación fuese posible, el campo fuerte se habría fragmentado produciendo nuevas partículas.
8. a) Calcular la energía que se lleva el neutrino muónico en el decaimiento de un pion en reposo  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ .  
b) Un pión de energía de 10 GeV decae en vuelo. ¿Cuáles son las energías máxima y mínima posibles del muón resultante de este decaimiento?