

BAB 15 PARTIKEL ELEMENTER

15.1 Jenis Partikel Elementer

Partikel elementer adalah partikel dasar tanpa struktur dalam. Partikel-partikel ini dapat dikelompokkan dalam dua cara. Pertama, berdasarkan pada jenis interaksi yang dialami partikel dalam berbagai reaksi dan peluruhannya. Semua partikel berinteraksi melalui interaksi lemah, interaksi elektromagnetik dan interaksi kuat. Skema pengelompokan, bagi beberapa partikel elementer disusun seperti pada Tabel 15.1

Tabel 15.1 Skema pengelompokan partikel elementer berdasarkan interaksi partikel.

Interaksi Lemah	Interaksi Elektromagnetik	Interaksi Kuat
e	e	π
μ	μ	K
ν	π	p
π	K	n
K	p	A
p	n	
n	A	
A		

Kedua, pengelompokan menurut massa partikel. Partikel yang ringan disebut lepton, yang sedang disebut meson dan yang berat adalah baryon. Foton dimasukkan dalam kelompok Boson yang tak bermassa.

Pengelompokan Partikel elementer berdasarkan massa adalah seperti pada Tabel 15.2.

Tabel 15.2 Skema pengelompokan partikel elementer berdasarkan massa partikel.

Kelas	Nama	Partikel	Anti P	Massa diam (Mev)	Usia	Spin	L_e	L_μ	L_τ	B	S	Y	I	I_z
Boson	Foton	γ	(γ)	0	Mantap									
Lepton	e-neutrino	ϵ_e	$\overline{\epsilon_e}$	0	Mantap	$\frac{1}{2}$	+1	0	0	0				
	μ -neutrino	ϵ_μ	$\overline{\epsilon_\mu}$	0	Mantap	$\frac{1}{2}$	0	+1	0	0				
	τ -neutrino	ϵ_τ	$\overline{\epsilon_\tau}$	0	Mantap	$\frac{1}{2}$	0	0	+1	0				
	Elektron	e^-	e^+	0,51	Mantap	$\frac{1}{2}$	+1	0	0	0				
	Muon	μ^-	μ^+	106	$2,2 \times 10^{-6}$	$\frac{1}{2}$	0	+1	0	0				
	Tau	τ^-	τ^+	1784	5×10^{-13}	$\frac{1}{2}$	0	0	+1	0				
Meson	Pion	π^+	π^-	140	$2,6 \times 10^{-8}$	0	0	0	0	0	0	0	1	+1
		π^0	(π^0)	135	$8,3 \times 10^{-17}$									0
		π^-	π^+	140	$2,6 \times 10^{-8}$									-1
Kaon	K^+	K^-	494	$1,2 \times 10^{-8}$	0	0	0	0	0	+1	+1	$\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	
	K^0	K^0	498	9×10^{-11}									$-\frac{1}{2}$	
Eta meson	γ^0	(γ^0)	549	7×10^{-19}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Barion	Proton	p	\overline{p}	938,3	Mantap	$\frac{1}{2}$	0	0	0	+1	0	+1	$\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$
	Neutron	n	\overline{n}	939,6										932
	A hiperon	A^0	$\overline{A^0}$	1116	$2,5 \times 10^{-10}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	+1	-1	0	0	0
	Σ hiperon	Σ^+	$\overline{\Sigma^-}$	1189	$8,0 \times 10^{-11}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	+1	-1	0	1	+1
		Σ^0	$\overline{\Sigma^0}$	1192	10^{-14}									0
		Σ^-	$\overline{\Sigma^+}$	1197	$1,5 \times 10^{-10}$									-1
Ξ hiperon	Ξ^0	$\overline{\Xi^0}$	1315	$3,0 \times 10^{-10}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	+1	-2	-1	$\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	
	Ξ^-	$\overline{\Xi^-}$	1321	$1,7 \times 10^{-10}$									$-\frac{1}{2}$	
Ω hiperon	Ω^-	$\overline{\Omega^-}$	1672	$1,3 \times 10^{-10}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	+1	-3	-2	0	0	

15.2 Bilangan Kuantum Partikel Elementer

Disamping bilangan kuantum muatan ($\pm 1,0$) dan spin ($\frac{1}{2},0$) yang ada dalam Tabel 2, masih ada bilangan partikel lainnya yang memberi spesifikasi pada setiap jenis partikel. Satu kumpulan bilangan kuantum biasa dipakai untuk mengkarakterisasi barion dan keluarga lepton. Bilangan $B = 1$ diberikan, dan $B = -1$ untuk setiap antibarion; setiap partikel lain memiliki $B = 0$. Bilangan $L_e = 1$ diberikan pada setiap elektron dan e-neutrino dan $L_e = -1$ untuk anti partikelnya; setiap partikel lainnya memiliki $L_e = 0$. Bilangan $L_\mu = 1$ diberikan pada setiap muon dan μ -neutrino dan $L_\mu = -1$ untuk anti partikelnya; setiap partikel lainnya memiliki $L_\mu = 0$. Bilangan $L_\tau = 1$ diberikan pada setiap tau dan τ -neutrino dan $L_\tau = -1$ untuk anti partikelnya; setiap partikel lainnya memiliki $L_\tau = 0$.

Peranan bilangan ini dinyatakan sebagai berikut : dalam setiap proses jumlah total masing-masing L_e, L_μ, L_τ dan B tetap konstan.

Disamping itu terdapat bilangan kuantum keanehan S (*strangeness*). Bilangan kuantum S dalam semua proses yang berlangsung melalui interaksi kuat dan elektromagnetik, dan dapat berubah dalam kejadian yang diatur oleh interaksi lemah.

Kuantitas yang disebut *hipermuatan* Y berguna untuk mengkarakterisasi keluarga partikel, kuantitas ini kekal dalam interaksi kuat. Hipermuatan sama dengan jumlah bilangan keanehan dan barion dari keluarga partikel itu :

$$Y = S + B \quad (15.1)$$

Ada banyak partikel yang anggota-anggotanya memiliki massa sama dan interaksi sama, tetapi muatannya berlainan. Keluarga ini disebut multirangkap (multiplet) yang menggambarkan keadaan muatan yang berbeda dari suatu kesatuan pokok. Berguna untuk memberi kategori pada masing-masing multirangkap menurut bilangan keadaan muatan yang ditunjukkannya dan bilangan I sedemikian rupa sehingga multiplisitas (kemultirangkapan) keadaan ialah $2I + 1$. Vektor I dalam isoruang, seperti pada kasus momentum sudut spin isotropik, komponen dalam arah tertentu diatur oleh bilangan kuantum I_z , kemungkinan harga I_z terbatas pada $I, I-1, \dots, 0, \dots, -(I-1), -I$.

Muatan meson atau barion berhubungan dengan bilangan barion B , keanehan S , dan komponen I_z melalui rumus

$$Q = e \left(I_z + \frac{B}{2} + \frac{S}{2} \right) \quad (15.2)$$

I maupun I_z tidak kekal dalam interaksi lemah.

15.3 Energi Peluruhan dan Reaksi Partikel Elementer

Dalam menganalisis peluruhan dan reaksi berbagai partikel elementer, berlaku hukum-hukum seperti peluruhan dan reaksi inti : energi, momentum linier, momentum sudut harus kekal, dan nilai total bilangan kuantum yang berkaitan dengan muatan listrik, bilangan lepton dan bilangan barion harus sama sebelum dan sesudah peluruhan atau reaksi. Dalam berbagai reaksi partikel elementer, terjadi penciptaan beraneka jenis partikel baru. Energi yang diperlukan untuk menciptakan berbagai partikel ini berasal dari energi kinetik partikel yang bereaksi (biasanya partikel datang, karena biasanya partikel sasaran dalam keadaan diam). Karena energi ini biasanya besar sekali (fisika energi tinggi), maka harus digunakan bentuk relativistik energi dan momentum. Jika nilai energi Q positif, energi dibebaskan, jika Q negatif, beberapa bagian energi kinetik awal diubah menjadi energi massa. Untuk Q yang bernilai negatif, mempunyai energi ambang K_{th} (K threshold), yaitu energi kinetik minimum yang harus dimiliki oleh partikel penembak untuk dapat memulai reaksi. Untuk menghitung energi kinetik ambang ini digunakan persamaan

$$K_{th} = (-Q) \frac{\text{massa total semua partikel yang terlibat dalam reaksi}}{2 \times \text{massa partikel sasaran}} \quad (15.3)$$

Untuk peluruhan partikel elementer berlaku 2 aturan dasar :

- (1) Energi yang tersedia Q bagi peluruhan (dengan anggapan partikel yang meluruh dalam keadaan diam) adalah beda energi massa antara partikel yang meluruh dan yang dihasilkan dalam proses peluruhan.
- (2) Energi yang tersedia Q dibagi bersama sebagai energi kinetik semua partikel hasil peluruhan sedemikian sehingga kekekalan momentum linear terpenuhi. Jika hasilnya dua partikel, kedua partikel ini memiliki momentum linear yang sama besar tetapi berlawanan arah, dan dapat dicari nilai-nilai tunggal bagi kedua partikel.

$$Q = K_1 + K_2 \quad (15.4)$$

$$p_1 = p_2 = p \quad (15.5)$$

Dengan menggunakan persamaan energi kinetik relativistik

$$Q = \left(\sqrt{p^2 c^2 + m_1^2 c^4} - m_1 c^2 \right) + \left(\sqrt{p^2 c^2 + m_2^2 c^4} - m_2 c^2 \right) \quad (15.6)$$

dapat diperoleh harga p sehingga K_1 dan K_2 dapat ditentukan.

Jika tercipta tiga atau lebih partikel, tiap partikel memiliki suatu spektrum atau distribusi energi dari nol hingga suatu nilai maksimum.

PERTANYAAN DAN SOAL-SOAL

1. Reaksi berikut ini ada yang tidak mungkin terjadi. Tentukan reaksi yang dapat terjadi dan yang tidak mungkin terjadi.
 - a. $\Lambda^0 \rightarrow f^+ + f^-$
 - b. $f^- + p \rightarrow n + f^0$
 - c. $f^+ + p \rightarrow f^+ + p + f^- + f^0$

2. Isikan partikel yang hilang dalam masing-masing peluruhan berikut :
 - a. $K^- \rightarrow f^0 + e + ?$
 - b. $K^0 \rightarrow f^0 + f^0 + ?$
 - c. $\gamma \rightarrow f^+ + f^- + ?$

3. Hitunglah nilai Q dari peluruhan berikut :
 - a. $f^- \rightarrow \pi^- + \pi^-$
 - b. $f^0 \rightarrow \pi + \pi$
 - c. $K^0 \rightarrow f^+ + f^-$
 - d. $\Sigma^+ \rightarrow p + f^0$
 - e. $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi$

4. Hitunglah energi kinetik ambang bagi keempat reaksi berikut. Dalam tiap kasus, partikel pertama bergerak, sedangkan yang kedua diam.
 - a. $p + p \rightarrow n + \Sigma^+ + K^0 + f^+$
 - b. $f^+ + p \rightarrow \Sigma^0 + K^0$
 - c. $p + n \rightarrow p + \Sigma^- + K^+$
 - d. $f^+ + p \rightarrow p + p + \bar{n}$

5. Meson μ^- bertumbukan dengan proton, dan hasilnya ialah sebuah neutron dan sebuah partikel lain. Apakah partikel lain tersebut?