

Föreläsning 13, Fysik B för D2

Thomas Nilsson

December 12, 1997

51 Växelverkan

Vi har fyra fundamentala typer av växelverkan i naturen:

Table 1: Växelverkanstyper

Växelverkan	Relativ styrka	Räckvidd	Fältpartikel	Uppträder ex. i
Stark	1	≈ 1 fm	Gluon	nukleonbindning
Elektromagnetisk	10^{-2}	∞	Foton	elektronbindning, elektromagnetism
Svag	10^{-5}	$\approx 10^{-3}$ fm	W^\pm, Z^0	Betasönderfall
Gravitation	10^{-39}	∞	Graviton	Planetrörelse

Hur kommer det sig att den uttalat svagaste av dessa växelverkanstyper, gravitationen, är den som förnims mest i det dagliga livet? Dels har den oändlig räckvidd, dels är den endast **attraktiv** till skillnad från elektromagnetisk växelverkan där positiva och negativa laddningar kancellerar ut varandra.

Växelverkanstyperna har **utbytespartiklar** som **medierar** kraften, och det är dessa partiklars räckvidd som bestämmer växelverkans räckvidd.

52 Partiklar

Hittills har vi kunnat beskriva atomen och kärnan med ett begränsat antal partiklar, protonen, neutronen och elektronen, men det existerar många fler. I β -sönderfallet dök ytterligare två partiklar upp, **positronen** och **neutrinon**.

52.1 Partikel - antipartikel

Som vi såg i β^+ -sönderfallet så är **positronen** elektronens **antipartikel**, den har samma massa men omvänt tecken på laddningen. Positroner kan bildas från högenergetiska $E_\gamma > 1022keV$ gammastrålar som omvandlas till ett elektron-positronpar (i närheten av en atomkärna som måste ta upp rörelsemängd för att processen ska vara kinematiskt möjlig) enligt:

$$\gamma \rightarrow e^+ + e^- \quad (1)$$

Alla partiklar har en motsvarande antipartikel, på samma sätt existerar alltså antiprotoner, antineutroner etc.

52.2 Växelverkanspartiklar

Den moderna synen på elektromagnetisk växelverkan är att två laddade partiklar utbyter **virtuella fotoner**, vilket kan åskådliggöras i ett **Feynmandiagram** som i fig. 47.2. På samma sätt kan växelverkan mellan två nukleoner föreställas; nukleonerna utbyter **virtuella pioner** som medierar den **starka växelverkan**. Vi kan uttrycka Heisenbergs osäkerhetsrelation som

$$\Delta E \approx \frac{\hbar}{\Delta t} \quad (2)$$

vilket innebär att under tiden Δt kan vi "låna" energin ΔE och skapa en virtuell partikel. Om ΔE är pionens massa, och Δt är den tid det tar för pionen att transferera från den ena nukleonen till den andra, så kan vi skriva om (2):

$$\Delta t \approx \frac{\hbar}{\Delta E} = \frac{\hbar}{m_\pi c^2} \quad (3)$$

Den maximala sträckan pionen kan tillryggakämma under tiden Δt är $d = c\Delta t$. Detta i (3) ger:

$$d \approx \frac{\hbar}{m_\pi c} \quad (4)$$

Vi hade tidigare att den starka växelverkans räckvidd var ungefär $1.5 \cdot 10^{-15}$ m, vi sätter in detta i (4):

$$m_\pi c^2 \approx \frac{\hbar c}{d} = 130 \text{ MeV} \quad (5)$$

På samma sätt kan man beräkna massan för de partiklar som medierar den svaga växelverkan, W^\pm, Z^0 , dessa har massor på $80.3 \text{ GeV}/c^2$ respektive $91.2 \text{ GeV}/c^2$ och upptäcktes på CERN 1983. Då elektromagnetisk växelverkan och har oändlig räckvidd, måste deras mediatorer vara masslösa, vilket fotonen som bekant är. Gravitonen är ännu inte experimentellt påvisad.

52.3 Klassifikation av partiklar

52.3.1 Hadroner

Partiklar som växelverkar genom stark växelverkan kallas **hadroner**, dessa delas i sin tur in i **mesoner** (där pionen är ett exempel) med heltaliga spinn och **baryoner** (exempelvis protonen och neutronen och tyngre partiklar) med halvtaliga spinn.

52.3.2 Leptoner

Leptoner är partiklar som deltar i svaga växelverkansprocesser som β -sönderfall. I det fallet emitteras en elektron och en tillhörande elektronneutrino, det finns tre generationer av leptoner med tillhörande neutrinos vilket då innefattar **myonon** och **taunon**:

$$\begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau \\ \nu_\tau \end{pmatrix} \quad (6)$$

52.4 Konserveringslagar

För att en given reaktion ska äga rum måste ett antal villkor vara uppfyllda, vi såg för de olika typerna av sönderfall att bara de energetiskt möjliga kan inträffa. För elementarpartiklar finns ytterligare ett antal **konserveringslagar** som gäller i alla reaktioner.

52.4.1 Baryontal

Baryontalet måste vara konserverat i alla reaktioner och sönderfall så att när en baryon skapas/förintas måste även en antibaryon skapas/förintas. Baryontalet är:

$$B = \begin{cases} +1 & \text{för alla baryoner} \\ -1 & \text{för alla antibaryoner} \\ 0 & \text{för alla andra partiklar} \end{cases} \quad (7)$$

Om inte B bevarades, så kunde protonen sönderfalla enligt

$$p \rightarrow e^+ + \pi_0$$

vilket är ett sönderfall som inte har detekterats. ($T_{1/2} > 10^{32}$ år).

52.4.2 Leptontal

På samma sätt som baryontalet bevaras, gäller detsamma för **leptontalet**. Det gäller dessutom för de tre typerna av leptoner, så att elektron-, myon- och tauonleptontalet bevaras var för sig. Leptontalen är:

$$L_x = \begin{cases} +1 & \text{för alla leptoner } x^-, \nu_x \\ -1 & \text{för alla antileptoner } x^+, \bar{\nu}_x \\ 0 & \text{för alla andra partiklar} \end{cases} \quad (8)$$

där x står för e, μ, τ . I den fria neutronens sönderfall har vi:

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e \quad (9)$$

Före sönderfallet gäller $L_e = 0$, efter har vi $L_e = +1 - 1 = 0$, elektronleptontalet är bevarat.

Ex. 47.3: Kan sönderfallet

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$$

inträffa? På vänster sida har vi $L_\mu = 1, L_e = 0$, på höger sida $L_\mu = 0, L_e = 0$ så leptontalet bevaras inte i sönderfallet, alltså kan det inte inträffa. Istället sönderfaller myonen nästan uteslutande genom sönderfallet

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

52.5 Särtal

Ett antal partiklar som produceras i reaktioner skapas alltid parvis, dessa kallas för *strange particles* och har en egenskap som kallas för **särtal**. För särtalet gäller samma sak som för baryontalet och leptontalen, det bevaras i reaktioner och sönderfall som inte är relaterade till stark växelverkan. Detta förklarar att partiklarna bildas parvis, med $S = 1$ respektive $S = -1$. Svag växelverkan bevarar emellertid inte S , så på detta sätt kan en särtaletspartikel sönderfalla till partiklar med $S = 0$.

53 Kvarkmodeller

Det kaos av elementarpartiklar som antyds i tab. 47.2 (det finns hundratals andra) kunde förenklas avsevärt då man antog att det finns ännu mer fundamentala partiklar, **kvarkar**. Kvarkarna är sex till antalet, (**u,d,s,c,b,t** med lika många antikvarkar. Kvarkarna har **inte** heltalsladdningar, istället har de laddningar som är $(+2/3e, -1/3e, -1, +2/3e, -1/3e, +2/3e)$

Slut på "organiserade" föreläsningssanteckningar pga. sjukdom/tidsbrist. Detta innebär emellertid inte att det som kom efter denna punkt inte ingår i tentamen ...