

İleri Parçacık Fiziği-II

Öğretim Üyesi:

Prof. Dr. K. Gediz AKDENİZ

Zayıf etkileşme



Ayşe KARADENİZ

Mohamed Lamine RAOUF

o Doğada dört temel etkileşme görülmektedir:

➤ Kuvvetli

➤ Zayıf

➤ Elektromanyetik

➤ Gravitasyonel etkileşme

Bu kuvvetlerin özellikleri

Etkileşme	Vektör bozonları	Spin	Erim	Şiddet
Kuvvetli	Gluon	1	10^{-15}	1
Zayıf	W^{\pm}, Z^0	1	10^{-18}	10^{-5}
Elektromanyetik	foton	1	∞	α
Gravitasyonel	graviton	2	∞	10^{-39}

Feynman Kuralları

Zayıf etkileşme

➤ Propagator (W^\pm, Z^0)

$$\circ \frac{-i(g_{\mu\nu} - \frac{q_\mu q_\nu}{M^2 c^2})}{q^2 - M^2 c^2}$$

○ $q^2 \ll (Mc^2)^2$ ise $\frac{ig_{\mu\nu}}{(Mc)^2}$ olur.

- Vertex katkısı W^- için
- $\frac{-ig_w}{2\sqrt{2}} \gamma^\mu (1 - \gamma^5)$
- $g_w = \sqrt{4\pi\alpha_\omega}$ zayıf bağlanma sabiti

- Vertex katkısı hesaplanırken kuarklarda açılarda hesaba katılır.

- $s \longrightarrow u \quad \frac{-ig_w}{2\sqrt{2}} \gamma^\mu (1 - \gamma^5) \sin\theta_c$

- $d \longrightarrow u \quad \frac{-ig_w}{2\sqrt{2}} \gamma^\mu (1 - \gamma^5) \cos\theta_c$

○ z^0 vertex katkısı :

○ $\frac{ig_z}{2} \gamma^\mu (C_v - C_A \gamma^5)$

	C_v	C_A
$\nu_e \nu_\mu \nu_\tau$	$1/2$	$1/2$
$e^- \mu^- \tau^-$	$-1/2 + \sin\theta_\omega$	$-1/2$
u c t	$1/2 - 4/3 \sin^2\theta_\omega$	$1/2$
d s b	$-1/2 + 2/3 \sin^2\theta_\omega$	$-1/2$

- $c \rightarrow s + e^- + \nu_e$ bu bozunması için $d\Gamma$ yazabilmek için ilk önce M ifadesini yazmalıyız.

$$1 \rightarrow 2 + 3 + 4 + \dots + n$$

- $$d\Gamma = |M|^2 \frac{S}{2\hbar m_1} \left\{ \left[\frac{cd^3p_2}{(2\pi)^3 2E_2} \right] \left[\frac{cd^3p_3}{(2\pi)^3 2E_3} \right] \dots \dots \dots \left[\frac{cd^3p_n}{(2\pi)^3 2E_n} \right] \right\} \times$$

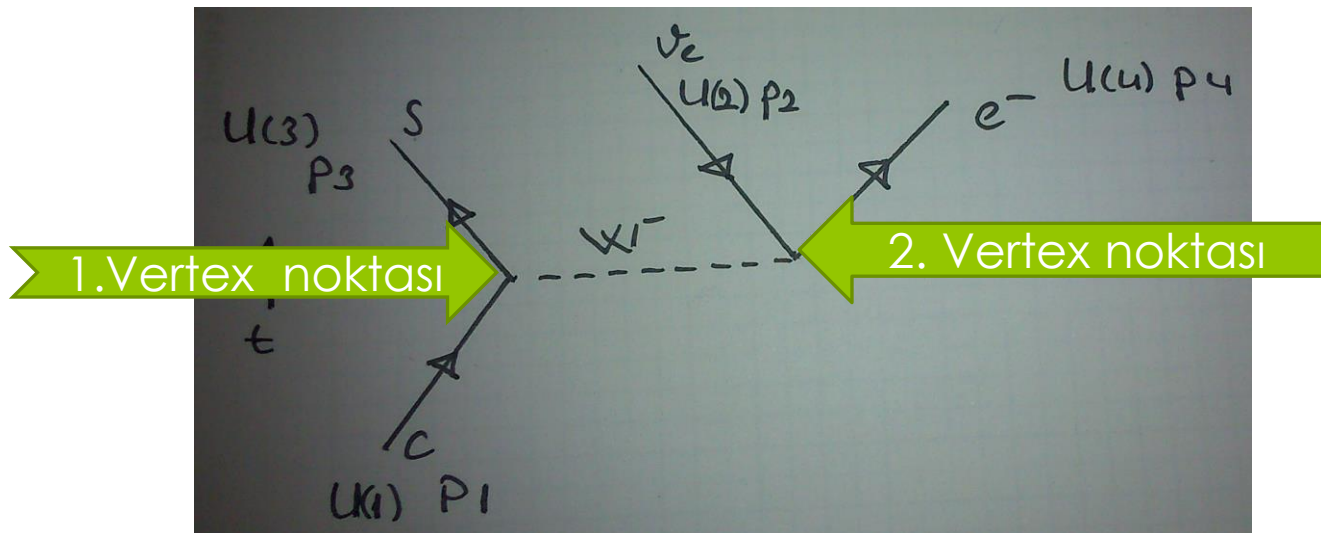
$$(2\pi)^4 \delta^4(p_1 - p_2 - p_3 - \dots - p_n)$$

$$p_i = (E_i/c, \mathbf{p}_i)$$

$$E_i = c\sqrt{p_i^2 + m_i^2 c^2}$$

○ $c \longrightarrow s + e^- + \nu_e$

sihirli parçacığın bozunumu bir zayıf etkileşme söz konusudur. Bu bozunma feynman diyagramı ile ifade edilirse



- 1. vertex katkısı c giren, s çıkan parçacık

$$\left[\bar{U}(3) \frac{-ig_w}{2\sqrt{2}} \gamma^\mu (1 - \gamma^5) U(1) \right]$$

- 1. vertex katkısı v_e giren, e^- çıkan parçacık

$$\left[\bar{U}(4) \frac{-ig_w}{2\sqrt{2}} \gamma_\mu (1 - \gamma^5) U(2) \right]$$

$M = \{1. \text{vertex. propagatör. } 2. \text{vertex. deltafonksiyonu}\}$

➤ Delta fonksiyonu $\rightarrow = (2\pi)^4 \delta^4(k_1 + k_2 + k_3)$

○ 1.vertex için delta fonk. $(2\pi)^4 \delta^4(p_1 - p_3 - q)$

○ 2.vertex için delta fonk. $(2\pi)^4 \delta^4(p_2 - p_4 + q)$

$M = \{1.\textit{vertex.propagatör}.2.\textit{vertex.deltafonksiyonu}\}$

$$\begin{aligned}
 M = & \left[\bar{U}(3) \frac{-ig_w}{2\sqrt{2}} \gamma^\mu (1 - \gamma^5) U(1) \right] \\
 & \frac{-ig_w}{2\sqrt{2}} \gamma^\mu (1 - \gamma^5) \left[\bar{U}(4) \frac{-ig_w}{2\sqrt{2}} \gamma_\mu (1 - \gamma^5) U(2) \right] (2\pi)^4 \delta^4(p_1 - \\
 & p_3 - q) (2\pi)^4 \delta^4(p_2 - p_4 + q) \int \frac{d^4 q}{(2\pi)^4}
 \end{aligned}$$

- $$\Gamma = \frac{1}{2m_c} \int |M|^2 \prod_{i=1}^3 \frac{d^3 p_i}{2E_i} (2\pi)^{-5} \delta^4(p_c - p_1 - p_2 - p_3)$$

- Monte carlo programında Γ integralini hesaplamak için,

- p_1, p_2, p_3 sırasıyla s ,e , v_e parçacıklarına ait momentumlardır.

- $$\frac{d^3 p_1}{E_1} = p_1^2 dp_1 d\phi \frac{d\cos\theta}{E_1} = \left(\frac{2\pi p_1 p_{max}^2}{E} \right) dx_1 dx_2 dx_3$$

- x_1, x_2, x_3 integrasyon değişkenleridir. Bu eşitlik $[0,1]$ aralığına indirgenmiştir.

- λ üçlü fonksiyonu;

$$\lambda(a, b, c) = a^2 + b^2 + c^2 - 2ab - 2bc - 2ca$$

- $p_{1max}^2 = \lambda(m_c^2, m_s^2 (m_e + m_\nu)^2 / (4m_c^2))$

- $m_{23}^2 = (p_c - p_1)^2 = m_c^2 + m_s^2 - 2m_c E_1$

- C leptonun momentumu

$$p_c^2 = \lambda(m_{23}^2, m_c^2, m_s^2) / (4m_{23}^2)$$

$$p_2^2 = p_3^2 = \lambda(m_{23}^2, m_e^2, m_\nu^2) / (4m_{23}^2)$$

$$\frac{d^3 p_2 d^3 p_3 \delta^4}{E_2 E_3} = \frac{p_2^2 d\cos\theta_2 dv_2}{E_2 E_3} \frac{dp_2}{d(E_2 + E_3)} = \frac{4\pi p_2}{m_{23}} dx_4 dx_5$$

$$\frac{G_f}{(\hbar c)^3} = \frac{\sqrt{2}}{8} \left(\frac{g_w}{M_w c^2} \right)^2$$

$$|M|^2 = 64 G_f^2 (p_c p_\nu) (p_s p_\nu) M_w^2 / [(m_{23}^2 - M_w^2)^2 + \Gamma_w^2 M_w^2]$$

- Yaptığımız hesaplamalar ile rölativistik kinematik kurallarına uygulayarak bulduğumuz bu sonuçları kullanarak x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 integrasyon değişkenlerine göre Γ integrandını fortran ile çözümlenebiliriz.
- Fortranda yazılan program ile hem bozunma genişliği formülündeki integrali hem de herhangi bir noktadaki 4 lü momentumu hesaplar.

- Yazılan bu program Monte Carlo metodu ile Γ integralini hesaplamak için W ağırlıklı olaylar üreten taudec alt programı N defa çağrılır ve bu olayların ortalaması alınır.

```

Implicit real*4(m)
    mc=1.87
    ms=0
    me=0
    mg=0
    n=2
    write(*,*) mc,ms,me,mg,n
1 format(4f5.2,i6)
  gamma=0
  var=0
  do 2 j=1,n
    call cdec(mc,ms,me,mg,w,a,b,c,d,e,f,g,h,p,q,r,s)
    gamma=gamma+w/n
    var=var+w**2/n
2  continue
  var=var-gamma**2
  sd=sqrt(var/n)
  write(*,*)gamma,sd
3 format(2e12.4)
  stop
  end
  subroutine cdec(mc,ms,me,mg,se,sx,sy,sz,ee,ex,ey,ge,gx,gy,gz)
  implicit real*4(m)

  Gf=1.666*0.1**5
  pie=3.14159
  mw=81
  gw=2.5

  pmax2=alam(mc**2,ms**2,(me+mg)**2)/(4*mc**2)

```

```

p1sq=pmax2*rand(0)
p1=sqrt(p1sq)
e1=sqrt(p1sq=ms**2)
m23=sqrt(mc**2+ms**2-2*mc*e1)

pesq=alam(m23**2,me**2,mg**2)/(4*m23**2)
pe=sqrt(pesq)
ee=(m23**2+me**2-mg**2)/(2*m23)
costh=1-2*rand(0)
sinh=sqrt(1-costh**2)
phi=2*pil*rand(0)
ex=pe*sinh*sin(phi)
ey=pe*sinh*cos(phi)
ez=pe*costh
ge=m23-ee
gx=-ex
gy=-ey
gz=-ez
pcsq=alam(m23**2,mc**2,ms**2)/(4*m23**2)
ce=(mc**2-ms**2+ms**2)/(2*m23)
cz=sqrt(pcsq)
se=ce-m23
sz=cz

msq=64*Gf**2*(ce*ee-cz*ez)*(se*ge-sz*gz)

msq=msq*mw**4/((m23**2-mw**2)**2+(mw*gw)**2)
w=msq*p1*pmax2*pe/(64*pil**3*mc*e1*23)

g=ce/mc

```

```
bg=-cz/mc  
b=bg/g  
ee=ee*g+ez*bg  
ge=ge*g+gz*bg  
ez=ee*b+ez/g  
gz=ge*b+gz/g
```

```
ct=1-2*rand(0)  
st=sqrt(1-ct**2)  
phi=2*pie*rand(0)  
cp=cos(phi)  
sp=sin(phi)  
ez=ez*ct-ey*st  
gz=gz*ct-gy*st  
ey=(ez*st+ey)/ct  
gy=(gz*st+gy)/ct  
ex=ex*cp-ey*sp  
gx=gx*cp-gy*sp  
ey=(ex*sp+ey)/cp  
gy=(gx*sp+gy)/cp  
se=mc-ee-ge  
sx=-ex-gx  
sy=-ey-gy  
sz=-ez-gz  
return  
end
```

Sonular

mc	ms	me	mg	gamma	sd
1.870000	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.076372E-14	4.010607E-14
1.870000	0.000000E+00	1.000000E+00	0.000000E+00	-7.076372E-14	4.010602E-14
1.870000	0.000000E+00	2.000000E+00	0.000000E+00	-7.076372E-14	4.010597E-14
1.870000	0.000000E+00	3.000000E+00	0.000000E+00	-7.076372E-14	4.010592E-14

mc	ms	me	mg	gamma	sd
1.870000	0.000000E+00	0.000000E+00	1.000000E-03	-7.076352E-14	4.010607E-14
1.870000	0.000000E+00	0.000000E+00	2.000000E-03	-7.076327E-14	4.010590E-14
1.870000	0.000000E+00	0.000000E+00	3.000000E-03	-7.076291E-14	4.010569E-14
1.870000	0.000000E+00	0.000000E+00	4.000000E-03	-7.076291E-14	4.010539E-14

mc	ms	me	mg	gamma	sd
1.870000	0.000000E+00	0.000000E+00	2.200000E-09	-7.076372E-14	4.010607E-14
1.870000	0.000000E+00	0.000000E+00	1.700000E-04	-7.076372E-14	4.010607E-14
1.870000	0.000000E+00	0.000000E+00	1.550000E-02	-7.075179E-14	4.009605E-14

- Elektron için farklı değerler aldığımızda yakın değerleri verdi. Küçük değişiklikler aynı miktarda değişiklik yarattı.
- Tabloda elektron nötrinosu için girdiğimiz farklı değerlere ve buna karşılık gama ve sd değerleri yazılmıştır. Deęerleri incelediğimiz de birbirine yakın sonuçlar elde ettiğimiz görölmektedir.

Öncelikle İleri Parçacık Fiziği derslerini bizlere aktaran, rehberlik eden ve bizlere zaman ayıran değerli öğretim üyesi Prof. Dr. K. Gediz AKDENİZ'e teşekkür ederiz.

Yrd. Doç. Dr. Zeynep ÖNEM ve Değerli Danışmanımız Prof. Dr. Suat ÖZKORUCUKLU ya bu problem çözüm aşamasında bize yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.