

BÖLÜM 1
HİDROJEN ATOMUNDA
MERKEZCİL ALAN
ÇÖZÜMLERİ



BÖLÜM 2
ATOMİK
HAMİLTONİYENİN BAZI
TERİMLERİ

Rutherford

Bohr

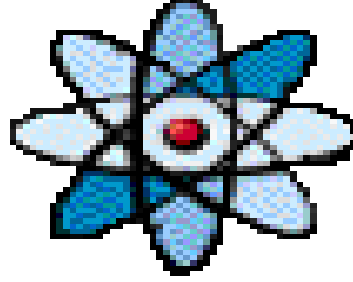
Compton

Pauli

Fermi

Feynman

BÖLÜM 3
ATOMİK SPEKTROSKOPİ



BÖLÜM 4
TEMEL PARÇACIKLAR

ATOM FİZİĞİ-2

BÖLÜM-3

ATOMİK SPEKTROSKOPİ

1)ATOMİK SPEKTROSKOPİ:Optik, NMR, ADMR...gibi yöntemlerle atomun saldığı ya da soğurduğu ışınım enerjileri gözlenerek ve incelenerek atomun yapısı hakkında bilgi edinilir. İlk spektral çalışmalar 19.yüzyılın sonlarına doğru (1885) hidrojen atomu ile ilgili olarak **Balmer** tarafından yapılmıştır. Sonraki çalışmalar J.R Rydberg, Bohr, Lyman...gibi fizikçiler tarafından yapıldı.

2)ATOMİK SPEKTROSKOPİDE BAZI KAVRAMLAR:Atomik spektroskopide en önemli kavramlardan biri **terim** kavramıdır. Spektroskopide terim birim uzunluğa giren dalga sayısı anlamındadır. Bu nedenle **spektral terim** $T=E/ch$ ifadesiyle tanımlanabilmektedir. Bu anlamıyla terim m

¹, cm⁻¹,....birimlerini alır ve özel olarak da 1 cm⁻¹=1K(Kayser) dir. Spektroskopide kullanılan diğer birimler ise: 1K→ν=3.10¹⁰Hz, 1K→1,239.10⁻⁴eV, 1K→10⁸A⁰ dir.

3)OPTİK SPEKTRUM SERİLERİ:Bir atomda spektral açıdan değişik özelliklerde ışınlar olur. Bu ışınlar o elementi belirleyen özellikler taşır. Bu nedenle bu ışınlar özelliklerine göre gruplandırılır. Bu gruplara **optik spektrum serileri** denir. Bu seriler nötr atomlar için **Rydberg formülüne** göre

yazılabilmektedir. Bunlar şöyledir: Baş (Principle) seri; $\bar{\nu} = \frac{R}{(1+S)^2} - \frac{R}{(n+P)^2}$, Keskin (Sharp) seri;

$\bar{\nu} = \frac{R}{(2+P)^2} - \frac{R}{(n+S)^2}$, Dağınık (Diffuse) seri; $\bar{\nu} = \frac{R}{(2+P)^2} - \frac{R}{(n+D)^2}$, Temel (Fundamental) seri;

$\bar{\nu} = \frac{R}{(3+D)^2} - \frac{R}{(n+F)^2}$ dir. Buradaki Baş seri n=2,3,4...için nP→1S geçişlerinden P-serisini, Keskin seri n=2,3,4... nS→2P geçişlerinden S-serisini, Dağınık seri n=3,4,5.... nD→ 2P geçişlerinden D-serisini,

Temel seri n=4,5,6....nF→3D geçişlerinden F-serisini oluşturmaktadır. Bu seriler harf sembolü ve enerji ölçeğinin birlikte kullanıldığı **Grotrian diyagramında** gösterilir...

4)ATOM SPEKTRUMLARININ DİLİ: Elektron, orbital ve seviyelerin gösterilme ve adlandırılmalarında kullanılan dile, yani **kodlamaya** atomik spektral dil denmektedir. Atomik spektral dilde *l* kuantum sayısının $0 \leq l \leq (n-1)$ aralığında tamsayı olan değerlerine karşılık, baştan itibaren sıra ile S(sharp), P(principle), D(diffuse), F(fundamental)...gösterim oluşturur.

<i>l</i>	0	1	2	3	4	5	6
Elektronlar	s	p	d	f	g	h	i	
Seviyeler	S	P	D	F	G	H	I	

Atomik spektroskopide çiftlenen açısız momentum kuantum sayılarından küçüğünü alarak belirlenen (2s+1) ya da (2*l*+1) ile belirli sayıya da **çok-katlılık** (multiplicity) denir.

Bu durum

şeklinde formülüne edilir.

Çok katlılık spektral gösterimde bir üst indis olarak bir üst indis olarak kullanılır. Bu gösterime örnekler, tablodadır.

Terim	¹ S	² S	³ P
Enerji Seviyesi	¹ S ₀	² S _{3/2}	³ P ₁
Enerji Durumu	1 ¹ S ₀	2 ³ S ₀	2 ² P _{1/2}
Orbitaller	1s	2s	2p

Genellikle $s < l$ olduğundan çok-katlılık $(2s+1)$ ile belirlenir. S'nin bazı değerleri için ortaya çıkan çokkatlılık, yani **spektroskopideki çizgi sayısı**: $s=0$ için $(2s+1)=1 \rightarrow$ Tekli (**singlet**) yapı, $s=1/2$ için $(2s+1)=2 \rightarrow$ ikili (**doublet**) yapı, $s=1$ için $(2s+1)=3 \rightarrow$ Üçlü (**triplet**) yapı, $s=3/2$ için $(2s+1)=4 \rightarrow$ Dörtlü (**quadruplet**) yapı, $s=2$ için $(2s+1)=5 \rightarrow$ Beşli (**quintet**) yapı şeklindedir. Spektroskopide oluşan çizgi sayısı aynı zamanda $(l+s) \geq j \geq (l-s)$ ile belirli elektronun toplam açısız kuantum sayısı olan j sayısı demektir. j 'nin uç değerlerine **gerilmiş durumlar** denir. Atomlarda n ve l değerleri için bir **kabuk (shell)** tan söz etmek olasıdır. Her n değeri bir **kabuğa**, her l değeri de bir **alt kabuğa** karşılık gelir.

5)ATOMLARIN X-IŞINI SPEKTROSKOPİSİ:Optik spektral dilde, optik gösterimin dışında bir de X-ışını gösterimi vardır. Bu gösterimde elektron tabakaları $n=1$ için K, $n=2$ için L, $n=3$ için M, $n=4$ için N... iç tabakalarından oluşur. Optik spektrumda dalga boyu 4000 \AA ile 8000 \AA arasında, x-ışını spektrumunda ise $0,01 \text{ \AA}$ ile 10 \AA arasındadır. Atomda iç tabakaların elektronları çok üst tabakalara atlatılır ise veya iç tabakada elektron boşluğu oluşturulursa (K-yakalması gibi), üst tabakalardan K tabakasına atlayan elektron, enerji farkını karakteristik X-ışını şeklinde yayınlar.

X-ışınları; karakteristik x-ışınları ve sürekli x-ışınları olmak üzere ikiye ayrılır. Sürekli x-ışını elektronların ağır çekirdeğe yakın geçerken negatif ivmelenmesi sonucu oluşur. Bir atomdan alınan x-ışını her iki x-ışını türünü de içerir. Spektrumda karakteristik x-ışını çizgileri $K_{\alpha}, K_{\beta}, K_{\gamma}, \dots, L_{\alpha}, L_{\beta}, \dots$ pikler olarak oluşur. Bütün bu geçişler için elektrik dipol seçim kuralları $\Delta l = \pm 1$ ve $\Delta j = 0, \pm 1$ şeklindedir.

6)MOSELEY KANUNU: Çok elektronlu atomlarda, σ elektronların birbirini perdeleme sabiti ve R

Rydberg sabiti olmak üzere, enerji $E_n = -(Z - \sigma)^2 \frac{Rch}{n^2}$ dir. $E_n = hv_x$ kullanılarak, K-serisi için

$$\nu_{x_K} = Rc(Z - \sigma_K)^2 \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_s^2} \right)$$

karakteristik x-ışını frekansı $\sqrt{\nu_x} \propto Z$ bağıntısına **Moseley kanunu** denir. K-serisi geçişleri için $\sigma_K=1$, L-serisi geçişleri için de $\sigma_L=7,4$ olarak deneylerle gözlenmiştir.

7)PAULİ DIŞARLAMA İLKESİ:Çok elektronlu bir atomun elektronları bir birinden ayırt edilemez özdeş parçacıklardır. Her hangi bir elektron, ancak uzaysal konumu (ψ_{nlm} dalga fonksiyonu) ile, ya da sadece (n, l, m) kuantum sayıları ile diğerlerinden ayırt edilebilir. Fakat elektronların bir de spin durumları, yani spin kuantum sayıları vardır. O halde herhangi bir elektronun spin uzayındaki durumunun da bilinmesi gerekir. Elektron, proton, nötron gibi parçacıkların spin kuantum sayısı $s=1/2$ olup, spin uzayları iki boyutludur (buradaki boyut alternatif anlamındadır). Buna göre bir elektronun tam adreslemesi $\Psi_{nlm}\chi_{sm_s}$ şeklindeki bir fonksiyonla olabilmektedir.

1925 yılında Pauli, deneysel gözlemlerden de yararlanarak, “**bir atom içinde aynı kuantum sayıları- setine; $[(n, l, s, m_l, m_s)$ veya (n, l, s, j, m_j)] sahip iki elektron bulunamaz**”ilkesini ortaya atmıştır, ki bu ilkeye **Pauli dışarlama ilkesi** denir.

Her elektron için spin uzayında iki spin dalga fonksiyonu vardır. Elektronlar 1,2 diye numaralandırılırsa bu fonksiyonlar $\chi_{1/2,1/2}(1) = \chi_\alpha(1)$ ve $\chi_{1/2,-1/2}(1) = \chi_\beta(1)$ şeklinde olur. İki elektronun kuantum durumlarını birlikte temsil eden dalga fonksiyonu, simetrik ve anti-simetrik olmak üzere

$\chi_s = \frac{1}{\sqrt{2}} [\chi_{\alpha\beta}(1,2) + \chi_{\alpha\beta}(2,1)]$ $\chi_A = \frac{1}{\sqrt{2}} [\chi_{\alpha\beta}(1,2) - \chi_{\alpha\beta}(2,1)]$ iki tanedir. Buradaki χ_A fonksiyonu ikili elektron sistemini temsil eden bir fonksiyondur (Pauli dışarlama ilkesine uygundur). Buna göre N elektronlu bir atom için χ_A fonksiyonu determinant olarak (**Slater determinanı**)

$$\chi_A = \frac{1}{\sqrt{N!}} \begin{vmatrix} \chi_\alpha(1) & \chi_\alpha(2) & \dots & \chi_\alpha(N) \\ \chi_\beta(1) & \chi_\beta(2) & \dots & \chi_\beta(N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \chi_\nu(1) & \dots & \dots & \chi_\nu(N) \end{vmatrix} \text{ yazılır.}$$

Pauli ilkesine göre:1)Spin kuantum sayısı buçuklu ($s=1/2,3/2,\dots$) olan ve **femiyon** denen parçacıklar dışarlama ilkesine uyar. Bunlar anti-simetrik fonksiyonlarla temsil edilir.

2)Spin kuantum sayısı tamsayı ($s=0,1,2,\dots$) olan ve **bozon** denilen parçacıklar dışarlama ilkesine uymazlar. Bunlar simetrik fonksiyonlarla temsil edilir.

8)ATOMLARDA ELEKTRON YERLEŞİMLERİ:Atomların kuantum seviyelerini elektronlarla doldurmada iki temel fiziksel ilke göz önünde bulundurulur. Bu ilkeler: 1)Bir atomda iki elektron aynı kuantum sayılarına sahip olamaz (**Pauli dışarlama ilkesi**). 2)Bir kuantum seviyesinin enerjisi ne kadar negatif ise seviye o oranda karardır (**küçük enerjiye öncelik ilkesi**).

Baş kuantum sayısı n aynı olan atomlar bir **kabuk** (shell) oluşturur. Baş kuantum sayısı n ile birlikte yörünge kuantum sayısı l 'si de aynı olan elektronlar ise bir **altkabuk** (subshell) oluşturur. Bir kabuğa yerleştirilebilecek en fazla elektron sayısı $2n^2$ ile, bir alt kabuğa yerleştirilebilecek en fazla elektron sayısı da $2(2l+1)$ ile belirlidir.

l	seviye	$2(2l + 1)$	altkabuk
0	S	2	s^2
1	P	6	p^6
2	D	10	d^{10}
3	F	14	f^{14}

n	1	2	3	4	5	6
$N=2n^2$	2	8	18	32	50	72

Sadece Pauli ilkesi göz önüne alınarak atomlarda elektron dağılımı yapılamaz. Bunun dedeni kuantum elektrodinamik teorideki **Lamb-kayması** dır. Lamb kayması ile orbitaller iç-içe girmektedirler (orbital penetration). Bir n değerine ait S seviyesi , bir üstteki (n+1) numaralı seviyelerin arasına girebilmektedir. Hidrojenin yarıçapları için; $r(2P)=5a_0$, $r(2S)=6a_0$ olması bu durumu göstermektedir. Elektron sıralanmalarındaki bu düzensizlik aslında **minumum enerji ilkesinin** gereği olan bir düzendir. Örneğin ${}_{19}K^{39}:1s^22s^22p^63s^23p^64s^1$ de ki 4s orbitali 3d orbitalinin içine girmiştir. Atomlarda elektronların kabuklara hangi sıraya uyararak dolduğunu şöyle özetleyebiliriz:1) Atomlarda elektron kabukları $(n+l)$ yönünde dolarak gider. 2)Hidrojen atomunda enerji sadece n'ye bağlı olduğundan $E_{n+1}>E_n$ dir. Çok elektronlu atomlarda hem n hem de l 'ye bağlı olduğundan $E_{(n,l+2)} > E_{(n+1,l)}$ dir.

Çok elektronlu atomlarda enerji n ve l 'ye bağlı olduğundan, atomlarda enerji seviyelerinin sıralanışı **Hund kuralları** ile açıklanır.

9)HUND KURALLARI:Hund kuralları bir atomda enerji seviyelerinin s, l , j kuantum sayılarına bağlı olarak nasıl sıralandığını spektroskopik bir bakış açısı ile açıklar. Hund kuralları ile belirlenen **taban durumunun spektral gösterim** tabloları atom fiziğinde adeta periyodik cetvel gibidir. Bu kurallar şöyledir:

1)Terimler, spin kuantum sayısı s 'nin değerlerine göre sıralanır. s 'si büyük olan terim daha karardır. **2)** Veilen bir s değeri için, çeşitli l değerleri söz konusu olduğunda l 'si enbüyük olan seviye en karardır (spektral terim sembolü $l=\sum m_l$ ile belirlenecek demektir). **3)**Verilen bir s ve l çifti için, elektron alt

kabuğu **yarıdan az dolu** ise, j 'si en küçük olan seviye en kararlı (en altta) olup, alt kabuk **yarı** ya da **yarıdan fazla dolu** ise j 'si en büyük olan seviye en kararlıdır.

Ayrıca **a)** Dolmamış kabuk sayısı birden fazla ise yarı dolu kabuklar birlikte değerlendirilmelidir. **b)** Bazen Hund kurallarının uymadığı durumlar söz konusudur. Özellikle elektronların sıralanmasındaki karışma

durumunda (**configuration mixing**). **c)** Hund kurallarındaki $s = \sum_i s_i$ ve $l = \sum_i (m_l)_i$ kuantum sayıları toplamıdır.

Örneğin ${}^8\text{O}^{16}$ atomunun spektral gösterimi şöyle yapılır: $1s^2 2s^2 2p^4 \cdot 2p^4$; $m_l = 1(\downarrow), 0(0), -1(0)$ için, $s = \sum_{i=1}^4 s_i = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$
 $l = \sum_{i=1}^4 (m_l)_i = 1 + 1 + 0 + (-1) = 1$
 $\Rightarrow 2s+1=3 \Rightarrow$ **Üçlü yapı**, \Rightarrow **P-terimi**,
 $(l+s) \geq j \geq (l-s) \Rightarrow j = 2, 1, 0$ yarıdan çok dolu olduğu için **2** değeri alınır ve oksijenin taban durumu spektral gösterimi ${}^3\text{P}_2$ olarak bulunur.

10) HİDROJEN ATOMUNDA LAMB KAYMASI: Lamb ve çalışma arkadaşı Retherford, 1947 yılında hidrojen atomunun $n=2$ seviyesinin alt kabuklarının bağlı durumunu deneysel olarak incelediler. Bu çalışmada $2S_{1/2}$ seviyesinin, $2P_{1/2}$ 'nin üzerinde olduğunu gösterdiler. Söz konusu seviyeler:

$\begin{pmatrix} n=2 \\ l=0 \\ s=1/2 \end{pmatrix} \Rightarrow 2S_{1/2}$ çok-katlılık=1, $\begin{pmatrix} n=2 \\ l=1 \\ s=1/2 \end{pmatrix} \Rightarrow 2P_{1/2,3/2}$ çok-katlılık=2 şeklindedir. $2S_{1/2}$ seviyesi

metastabildir ve $2S_{1/2}$ ile $2P_{1/2}$ arasındaki enerji farkına **Lamb kayması enerjisi** denir. Bu geçiş için

gerekli uyarıcı frekans $\nu = \frac{\Delta E_{Lamb}}{h}$ şeklindedir.

Aynı yıl **Bethe**, ışık madde etkileşmesi sonunda atomlarda S-seviyelerin birer miktar yukarı kaydıklarını açıkladı. Bu durum Dirac değerlerinin yaklaşık olduğunu belirtmekte idi. Bir elektronun kendi virtüel fotonu ile etkileşmesi, foton-foton saçılması, elektron-pozitron çift oluşumu ya da çift-yokolma olayları gibi bazı kuantum elektrodinamik olaylar serbest elektronun $g_s = 2$ ve $g_l = 1$ değerlerini değiştirmektedir. İşte Lamb kayması bu kuantum elektrodinamik olaylarla açıklanabilmektedir.

11) ATOMLARDA İŞİMALI GEÇİŞLER: Atomun kuantum enerji seviyeleri arasındaki geçişler kendiliğinden oluşabileceği gibi dış elektromanyetik alanın uyarması ile de oluşabilir. E_n ve E_m gibi iki enerji seviyesi arasında üç çeşit geçiş olasıdır. Bu geçişlerin olasılık katsayıları (**Einstein katsayıları**) şöyledir: A_{nm} -kendiliğinden ışıma olasılığı, B_{mn} -uyarma ile soğurma olasılığı, B_{nm} -uyarma ile ışıma olasılığı.

Bu katsayılar kuantum elektrodinamik çerçevede hesaplanır. Pertürbasyon alanının harmonik olduğu durumda, sadece konuma bağlı kısım yaklaşımında geçiş olasılığı katsayısı;

$$B_{nm} = \frac{C_1}{\nu_{mn}^2} \left| \langle m \left| \frac{e}{mc} \vec{p} \cdot e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} \right| n \rangle \right|^2$$

şeklindedir. Burada C_1 bir sabittir, p momentum, k dalga vektörüdür.

$e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} = 1 + i\vec{k} \cdot \vec{r} + \frac{(i\vec{k} \cdot \vec{r})^2}{2!} + \dots$ seri terimleri elektromanyetik geçiş türlerini belirler. Birinci terim **elektrik dipol geçişi**, ikinci terim **manyetik dipol geçişi**,.... gibidir.

BÖLÜM-4

TEMEL PARÇACIKLAR

1)TEMEL PARÇACIKLAR:Uzun yıllar **atom**, maddeyi oluşturan en küçük parçacık sanılmıştır. 1910'lu yıllarda atomunda bir iç yapısı olduğu, içinde **çekirdek** denen yoğun bir kısım, onun etrafında yörüngelerde dolanan elektronlardan ibaret olduğu anlaşıldı. 1930'lu yıllarda çekirdeğin içinde de **nükleon** (proton, nötron) denen parçacıklar olduğu bulundu. 1940'lı yıllarda kütleleri elektron ile protonun arasında bulunan ve yükleri (+), (-) ve (0) olan yeni parçacıklar bulundu ve bunlara **mezonlar** dendi. Bu gün bu tür parçacık sayısı 300 civarındadır. Bu 300 civarındaki parçacığın pek çoğu kararsızdır, içlerinde tam kararlı olanlar **elektron, proton** ve **nötrino**'dur. Nötron bile 16,7 dakikada kendiliğinden bozularak bir proton, bir elektron ve birde anti-nötrino oluşturur.

Elemanter parçacıklar toplu halde üç ana grupta toplanır: **Leptonlar, Mezonlar** ve **Baryonlar**. Bunların tablosu aşağıdaki gibidir.

Leptonlar (s=1/2)	Mezonlar (s=0,1,2..)	Baryonlar (s=1/2,3/2,..)
-------------------	----------------------	--------------------------

Elektron(e)	Pionlar(π)	Proton(p)
Elektron-nötrino(ν_e)	Eta-parçacığı(η)	Nötron(n)
Müon(μ)	Ro-parçacığı(ρ)	Delta-parçacığı(Δ)
Müon-nötrino(ν_μ)	Omega parçacığı(ω)	Lamda-parçacığı(Λ)
To(τ)	Kapa-parçacığı(κ)	Sigma parçacığı(Σ)
To-nötrino(ν_τ)

Mezon ve baryonların ikisine birden **hadronlar** da denmektedir.

1970’li yıllarda hadronları oluşturan ve elektrik yükü kesirli olan yani parçacıklar belirlendi. Bu parçacıklar **Gell-Mann** ve **G.Zweig** tarafından **kuark** olarak adlandırılıp, literatüre sokuldu. Kuarklar tablosu 90’lı yıllarda tamamlanmış oldu. Kuarklar 6 tanedir ve her kuarkın bir de anti-kuarkı vardır. Her kuark aynı zamanda **kırmızı, yeşil** ve **mavi** şeklinde üç renkten, anti kuanklar da bu renklerin antilerinden oluşur. Kuarkların tablosu aşağıdaki gibidir.

Kuark ($s=1/2$)	sembol	Yük(e)	Kütle(MeV)
Üst (up)	u	+2/3	360
Alt(down)	d	-1/3	360
Tılsımlı(charm)	c	+2/3	1500
Acayip(strange)	s	-1/3	540
Tavan(top)	t	+2/3	174000
Taban(bottom)	b	-1/3	5000

Mezonlar bir kuark ve bir anti-kuarktan oluşurken, baryonlar üç kuarktan oluşur.

Bilindiği gibi evrende **dört çeşit kuvvet** vardır. Bu kuvvetler şöyledir: **1) Kütle-çekim kuvveti, 2) Elektromanyetik kuvvetler, 3) Zayıf nükleer kuvvetler, 4) Şiddetli nükleer kuvvetler.** Standart modele göre bu kuvvetler belirli parçacıklar aracılığı ile taşınırlar. Bu taşıyıcı parçacıklara **bozonlar** denir. Bozonlar tablodaki gibidir.

Bozon adı	Spin	Yük(e)	Kütle(MeV)	Etkileşim türü	Erimi (cm)
Graviton	2	0	0	Kütleçekimi	Sonsuz
Foton	1	0	0	Elektromanyetik	Sonsuz
W ⁺	1	+1	81000	Zayıf	<10 ⁻¹⁶
W ⁻	1	-1	81000	Zayıf	<10 ⁻¹⁶
Z ⁰	1	0	93000	Zayıf	<10 ⁻¹⁶
Gluonlar(8)	1	0	0	Şiddetli	<10 ⁻¹³

Kuantum mekaniksel yaklaşımla nükleer kuvvetleri inceleyen fizik dalı **kuantum elektrodinamiktir.** Kuarklar arasındaki etkileşimler **şiddetli etkileşimler**dir ve renk kuvvetlerinden dolayı **kuantum renk dinamiği (kuantum kromodinamik) teorisi** ile incelenirler. Kuantum kromodinamik hesaplar temel parçacık etkileşimleri ile ilgilidir. Bu etkileşimlerde parçacıklar, foton, virtüel foton, gluon...vb alışverişinde bulunurlar. Bu alış-verişler ilk defa **R.Feynman** tarafından sembolik diyagramlarla uzay-zaman düzleminde gösterilmiştir. Bu diyagramlara **Feynman diyagramları** denir ve kuantum elektrodinamik teoride önemli yer tutar.

2)YUKAWA’NIN MEZON TEORİSİ:Mezon teorisi ilk defa 1935 yılında Japon fizikçi Yukawa tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoriye göre atom içerisindeki nükleonlar (proton, nötron) sürekli olarak π mezonları alış-verişinde bulunurlar. Bu nedenle nükleonların etrafında her an pion (π^+ , π^- , π^0) denen parçacıkların oluşturduğu bir **mezon-alanı** vardır. Nükleonlar arasında bu alan etkileşmesi mezon alışverişi şeklindedir ve nükleonları bir arada tutar. Aynı zamanda nükleonlar, mezonların yük dağılımına göre, proton \leftrightarrow nötron dönüşümüne de uğrayabilmektedir. Bu etkileşmeler sonucunda ortaya çıkan bağlanma , **çekirdek kuvvetleri** olarak adlandırılır. Bu çekirdek kuvvetleri $U(r) = -U_0 \frac{r_0}{r} e^{-r/r_0} = g^2 \frac{1}{r} e^{-r/r_0}$ şeklindeki **Yukawa potansiyelinden** türetilir. Burada $r_0 = \frac{\hbar}{mc}$, $g^2=U_0.r_0 \cong 15 \hbar c$ (cgs’de) şeklinde sabitlerdir. $r_0=1,4.10^{-13}$ cm civarında olup, çekirdek kuvvetinin menzili olarak bilinir. g^2 ise çekirdek içi etkileşim sabiti adını alır ve $\hbar c$ boyutundadır. Doğadaki mevcut temel etkileşmeler ve şiddetleri tablodadır.

Etkileşme türü	Etkileşme şiddeti
Şiddetli çekirdek etkileşme	$g^2 / \hbar c \cong 15$
Elektromanyetik etkileşme	$\alpha = e^2 / \hbar c \cong 1/137$
Zayıf çekirdek etkileşme	$f^2 / \hbar c \cong 10^{-5}$
Gravitasyonel etkileşme	$\gamma m_p^2 / \hbar c \cong 10^{-36}$

Mehmet TAŞKAN

KAYNAKLAR:

1)”**Kuantum Fiziği**” –Prf.Dr.Erol AYGÜN-Doç.Dr.D.Mehmet Zengin, Ankara Üniversitesi Yayınları-2.Baskı-1992

2)”**Atom ve Molekül Fiziği**”- Prf.Dr.Erol Aygün-Doç.Dr.D.Mehmet Zengin-Ankara Üniversitesi yayınları-1992

3)”**Çağdaş Fiziğin Kavramları**”-Arthur Beiser-Çev:Doç.Dr.M.Çetin-Doç.Dr.H.yıldırım-Prf.Dr.Z.Gülsün. Dicle Üniv.yayınları-2,baskı-1989.....

4)**Atom ve Molekül Fiziği**, Prf Dr B:H:Bransden, Prf Dr C.J.Joachain, **Çevirenler:**Prf Dr F.Köksal, Prf Dr H.Gümüş, On dokuz Mayıs Üniv.

5)**Fizikte matematik metotlar** ,Prf Dr C.Önem, Erciyes Ünı, 3.baskı, Birsen Yay.

6)**Physics-part 2**, Prf Dr D.Halliday, Prf Dr R.Resnick, Wiley International Edition.

7)**Katıhal fiziğine giriş**, Prf Dr T.Nuri Durlu, Ankara Ünı, 1992 2.Baskı.