



**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ORTAÖĞRETİM ALAN ÖĞRETMENLİĞİ  
TEZSİZ YÜKSEK LİSANS**

**FİZİKTE GİZEMLİ BİR SABİT  
 $\alpha$  (İnce Yapı Sabiti)**

**ÖĞRETİM ELEMANI : Yrd. Doç. Dr. Rıza Demirbilek**

**ÖĞRENCİ AD-SOYAD: Ç. Elif DEMİRCİ**

**ÖĞRENCİ NO: 07539004**

**İSTANBUL, Ocak– 2009**

## İÇİNDEKİLER

1. Giriş .....	3
2. Doğal sabit olma sorunu .....	6
2.1 Oklo Reaktörü .....	6
2.2 Kuasarlar .....	7
2.3 Atomik Saat Tıklamalarının Kıyaslanması .....	7
3. $\alpha$ 'nın Deneysel Olarak Belirlenmesine Yönelik Öneriler .....	8
4. $\alpha$ 'nın Teorik Olarak Belirlenmesine Yönelik Öneriler .....	9
4.1 Gilson Yöntemi .....	10
4.2 Wales Yöntemi .....	15
5. Sonuç .....	18
6. Ekler .....	20
Ek-1 Dört Temel Kuvvet .....	20
Ek-2 Vakum Polarizasyonu .....	21
Ek-3 Belirsizlikler .....	22
Ek-4 Bohr Hidrojen Atomu .....	23
7. Kaynakça .....	24

## 1. Giriş

Doğada var olan her etkileşim (Kütle çekim, elektromanyetik, güçlü ve zayıf çekirdek etkileşimi) için o etkileşimin şiddetini veren bir bağlaşım sabiti vardır (**bkz. Ek-1**). Bu bağlaşım sabitleri doğanın anlaşılmasında ciddi rol oynamaktadır. Bu yüzden onların mümkün olduğunca doğru olarak belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Söz konusu bağlaşım sabitlerinden biri de ince yapı sabiti (fine structure constant) olarak bilinen bağlaşım sabiti  $\alpha$  (alfa) dır. Başlangıçta Hidrojen atomu spektrumlarının ince yarılmalarını betimlemek için relativistik etki sonucu olarak Sommerfeld tarafından 1916 yılında ortaya atılmıştır [1]. Elektronun bir merkez (çekirdek) etrafında dolanma hareketinin bir sonucu olarak hareket yörüngesinin eliptik olduğu görülmüştür [2]. Bilindiği gibi hidrojen tipi atomlarda bu eliptik yörüngelerde dolanan elektronun, görelî etkiler nedeniyle enerji düzeylerinde ince yapı yarılmaları görülmektedir. Bir elektronlu atomların Schrödinger (Bohr) enerji düzeylerine eklenen görelî düzeltmeleri elde etmenin kolay bir yolu vardır. Bu basit işlem, başlangıç koordinatlarında bulunan ve sonsuz kütleli olduğu varsayılan çekirdeğin  $V(r) = -Ze^2/(4\pi\epsilon_0)r$  merkezci potansiyel alanındaki elektron için Dirac denklemini çözmeyi gerektirir. İnce yapı olarak bilinen ve enerji düzeylerinin yarılmalarına neden olan görelî düzeltmeleri, görelî olmayan Hamiltonien ifadesinde belirtilerek yeni şeklini alır. Sonuç olarak elektron için görelî olmayan  $E_n$  enerji ifadesi, görelîlikten gelen tüm düzeltme terimleri

eklendiğinde  $E_{nj} = mc^2 \left\{ \left[ 1 + \frac{Z\alpha}{n - j - 1/2 + [(j + 1/2)^2 - Z^2 - \alpha^2]^{1/2}} \right]^{-1/2} - 1 \right\}$  olarak

karşımıza çıkar [3].

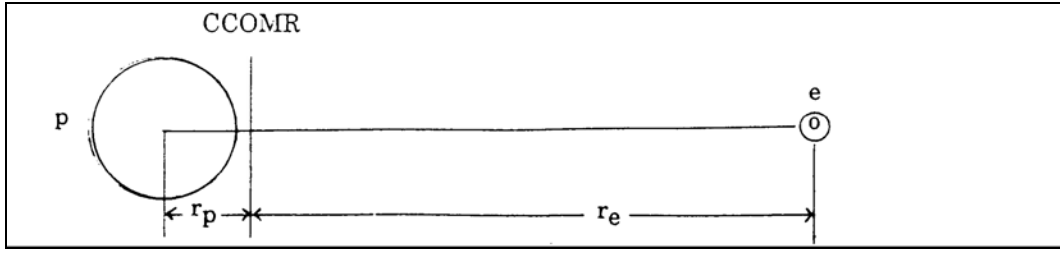
Buradaki  $\alpha$  sabiti de relativistik etki sonucu olarak kendini gösteren bir sabittir. Ancak daha sonra bunun böyle olmadığı gözlemlenmiş ve sabitin elektromanyetik alan ile elektronun kenetlenme sabiti olduğunun farkına varılmıştır. Buna rağmen tarihi adı aynı bırakılmıştır. İnce yapı sabiti  $\alpha$ , elektromanyetik etkileşim gücünün ölçüsünü göstermektedir. Yani bu sabit, elektronların atom içerisinde çekirdeğe bağlanma gücünün bir etkisi olarak ortaya çıkmıştır. Elektrik yüklü temel parçacıklar (elektron gibi) ile fotonun etkileşimini betimler. Bu, kendini bir fotonun soğurulması ya da salınması şeklinde gösterir. Bununla da elektromanyetik kuvvetin şiddeti nitelendirilebilir.

Çağdaş fizik konularından biri de bu sabiti teorik ve deneysel olarak doğru saptamak ve bunun sırrını anlamaktır ki, bu doğru anlaşılırsa kuantum fiziğinin çehresi daha da netleşecektir. Ünlü fizikçi Feynman'ın bu sabiti fiziğin bir gizemi olarak betimlemesi dikkate değerdir.  $\alpha$  üzerine kitaplarından birinde Feynman'ın şöyle demektedir [19]:

*“Bir gerçek elektron gerçek bir foton soğurması ya da salmasının genliği olan gözlemlenmiş bağlaşım sabiti  $\alpha$  ile ilgili çok derin ve güzel bir soru vardır. Bu sabit deneysel olarak ölçülmüş, yaklaşık olarak 0.08542455 değerinde bayağı bir sayıdır. (Fizikçi dostlarım bu sayıyı pek hatırlayamazlar; çünkü onlar bunun tersi olan 137.03597 sayısını hafızalarında tutmayı yeğliyorlar. Bu sayının son basamağında yaklaşık 2 değerinde bir belirsizlik vardır. Bu sayı keşfedildiği 50 seneden beridir bir giz olmuştur ve her iyi teorik fizikçi bu sayıyı duvarına asıp ondan dolayı kaygılanmaktadır). İnsan hemen bu sayının nereden geldiğini merak ediyor: Acaba bunun Pi sayısı veya doğal logaritmanın tabanı ile bir bağılılığı var mıdır? Kimse bilmiyor. Fiziğin en büyük kahredici gizemlerinden biri: İnsanın anlayamadığı büyüklü bir sayı. “Tanrı'nın eli” yazdı, ancak “biz O'nun kalemını nasıl bastırıldığını bilmiyoruz” diyebilirsiniz. Bu sayının çok hassas ölçülebilmesi için deneysel olarak nasıl bir dans gerektiğini biliyoruz;*

*fakat bunun gizemsiz bir şekilde bilgisayardan çıkışı için nasıl bir dans gerektiğini bilmiyoruz.”*

Pek çok bilim insanı bu sabit ile uğraşmıştır ve hala pek çok bilim insanı uğraşmaktadır. Isaac Newton, kütle çekim etkisini tanımlayarak gezegenlerin hareket yörüngelerinin eliptik olması gerektiğini gösteren ilk bilim adamı olmuştur. Buradan hareketle kütle çekim gücünü, hidrojen atomundaki proton-elektron gibi parçacıklar arası etkileşim gücüne dönüştürmek (benzetmek) basit bir mesele haline gelmiştir. CCOMR\* kütle merkezini tanımlamak üzere proton ve elektronun bir merkez etrafındaki dolanma hareketi şekil 1’de açıkça görülmektedir [2].



**Şekil 1:** Yarıçapları  $r_p$  ve  $r_e$  olan çemberler üzerinde hareket eden proton (p) ve elektron (e), kütle merkezi CCOMR etrafında dönme hareketi [2]

Sommerfeld’in de doğruladığı üzere elektron, proton etrafında dolarken eliptik bir yörünge izlemektedir [2]. Sözü edilen proton elektron etkileşimi de Coulomb kuvvet etkisi ile ortaya çıkmaktadır. Bohr, çekirdeğin kütlelerinin kendisine bağlı bulunan elektronların kütlelerine oranla çok büyük olması nedeniyle çekirdeğin durgun olması yaklaşımını kullanmıştır. Bu yaklaşımı kullandığında elektron kendisine proton tarafından uygulanan Coulomb kuvvetinin etkisiyle  $r$  yarıçaplı dairesel bir yörünge üzerinde hareket etmektedir. (Bohr, basit olması için eliptik yörünge yerine dairesel yörüngeyi almıştır) [3]. Coulomb potansiyel etkisinden yola çıkılarak elde edilen  $\alpha$  sabitinin fiziksel tanımı şu şekilde yapılmaktadır:

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c}$$

SI birim sisteminde  $\hbar = h/2\pi$  olarak tanımlanmaktadır. Burada  $h$ , Planck sabitidir ve enerji ile frekans arasındaki ilişkiyi açıklar:

$$E = h\nu$$

Buradan, Sommerfeld’in  $\alpha$  için tanımladığı bağıntı;

$$\alpha = \frac{\hbar_c}{\hbar} \text{ biçiminde yazılır.}$$

İfadede yer alan  $\hbar_c$  terimi Coulomb potansiyel etkisinden kaynaklanan ve Maxwell teorilerinde tanımlanan açısal momentuma ait özel bir büyüklüktür.

$$\hbar_c = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 c}$$

\* CCOMR, Common Center of Mass Rotation ifadesinin kısaltılmış halidir.

Dolayısıyla  $\alpha$ , Maxwell teorisi ile Planck açısal momentum tanımı arasındaki ilişkiyi açıklayan bir sabit gibi düşünülebilir. Fakat Max Born, ince yapı sabitinin elektrodinamik ve kuantum teorisi arasındaki ilişkiyi açıklayan bu bağıntıdan çok daha derin bir anlam taşıdığını söylemektedir. Bu derin anlamı çözenin yolu ise temel parçacıklar teorisinin tam olarak anlaşılmasından geçmektedir [17]. Ayrıca  $\hbar \rightarrow 0$  limit durumlarında kuantum teorilerinin klasik teorilere dönüşmesinin fark edilmesi Maxwell teorileri ile Planck açısal momentum tanımı arasında bu kırılğan yapıyı zedelemiş ve boyutsuz sayı ( $\alpha$ ) hakkında şüphelerin gündeme gelmesine neden olmuştur. Bu yıkımın etkisi ince yapı sabiti hakkındaki gizi daha da önemli hale getirmiştir [15].

İnce yapı sabitinin belirlenmesi için P.A Dirac ve A. S. Eddington da çalışmalarda bulunan bilim adamlarındandır. Dirac kuantum mekaniğini geliştirdiği sıralarda lineer dalga denkleminin Sommerfeld eşitliğine götürdüğü sonucu ile karşılaşırken, Eddington evrende bulunan parçacık sayısını  $2^{127} - 1 \approx 10^{38}$  olarak öngörmüş ve buradan da ince yapı sabitinin tersinin ( $1/\alpha$ ) bir tamsayı olması gerektiğini vurgulamıştır. Bunun 1930 yılına kadar 136 ve 1930'dan sonra da 137 olması gerektiğini savunmuştur. 137 sayısı, Eddington'un "özel tamsayılar" olarak tanımladığı sayılardan bir tanesidir, ki bu sayıları genelleştirilmiş enerji tensörü\* bileşenlerini sayarak elde etmiştir. Sayma işlemi sonucu bir tamsayı elde edileceğinden Eddington da ince yapı sabitinin bir tamsayı olacağını söylemiştir. Fakat deney sonuçlarının  $\alpha$ 'nın bir tamsayı olmadığını göstermesi ile birlikte Eddington teorisi itibarını kaybetmiştir.\*\*

$\alpha^{-1}$ 'in değerinin elde edilmesinin bir başka yolu da elektronun  $n=1$  yörüngesindeki hızının ışık hızına bölünmesidir. Bu çok özel bir durumdur. Çünkü burada oranlamanın gerektirdiği üzere boyutsuz bir sabit elde edilmektedir. Sabitin boyutsuz olması onu fizikte mantıklı bir alana yerleştirmeyi oldukça güç bir hale getirmiştir. Max Born bu konudaki görüşlerini şu şekilde dile getirmektedir [15]:

*"Elektrodinamik ve kuantum teorileri arasındaki ilişkiyi geçerli olan tüm teorilerden çok daha iyi bir şekilde açıklayan ve e,c,h terimleri kullanılarak formalize edilmiş bu boyutsuz sayının oluşumu biraz kuşkulu görünmektedir. Bu sabitin teorik olarak elde edilmiş sayısal değeri fiziğe meydan okumaktadır."*

$\alpha$ 'yı fizik dünyası için odak noktası haline getiren durumlardan birisi de bu sabitin boyutsuz olmasıdır. Ayrıca bu değer, yalnızca tek bir yörünge değeri ( $n=1$ ) için elde edilmektedir. Elektronun farklı bir yörüngeye uyarılması ile bu sabitin değerinin değişip değişmeyeceği, bir değişim söz konusu ise bu defa da elde edilecek değerin ne olacağı gibi sorular gündeme gelmektedir. Ayrıca hidrojen benzeri atomlar için de benzer bir durum ile karşılaşılması, ince yapı sabitinin giderek bir sabit olmaktan uzaklaştığını şüphesi uyandırmaktadır.

Geçtiğimiz yıllardaki bazı kozmolojik ölçümleri yapanlar, bu sabitin zaman içinde değiştiğini öne sürmüşlerdir [4]. Ancak 2004'te yayınlanan daha ayrıntılı çalışmalardan da bu değişimin henüz tespit edilemeyecek düzeyde olduğu, dolayısıyla böyle bir zamanla değişimden şimdilik söz edilemeyeceği sonucuna varılmıştır [5]. Bu değişimin henüz tespit edilemeyecek boyutta olmasına rağmen ince yapı sabitinin evrenin oluşumundan bu yana değişimini gösteren bulgular da vardır [9].

Tüm bunlar akıllara cevaplanmayı bekleyen birçok soruyu getirmektedir.

1.  $\alpha$ 'nın alabileceği en küçük ve en büyük değer nedir?

---

\* Einstein tensörü olarak bilinen bu ifade uzay-zamanın geometrisi hakkındaki bilgiyi tanımlar.

\*\* Deney sonuçları elde edilen sayı  $137.030 (\pm 0.16)$  dir.

## 2. Elektronunun hızı, $c$ (ışık hızı)'na ulaşabilir mi?

Relativistik teori ve diğer teoriler hiçbir kütleli ışık hızına ulaşamayacağını söylemektedir. Ne kütle, ne uzunluk ne de zaman değerlerinin ölçümü için bir limit değer bulunmamaktadır. Tüm bu tanımlar sonsuz küçük ile sonsuz büyük arasında bir değer almaktadır. İçinden çıkılmaz bir hal alan bu durum ise fizikçileri büyük bir şaşkınlığa uğratmaktadır [2].

## 2. Doğal sabit olma sorunu

Bilim insanları bir yandan bu sayının teorik ve deneysel olarak kesin değerinin ne olduğunu ve bunun nasıl hesaplanabileceğini araştırırken, diğer yandan bunun gerçekten bir doğal sabit olup olmadığını tartışmaktadırlar.

Birim analizi yapmaya çalışan Jacobsen  $\alpha$ 'nın temel bir sabit olamayacağı sonucuna varmakta ve buradan da manyetik monopol varlığının beklenilmesinin anlamsız olacağını belirtmektedir [6].

Subramaniam ve arkadaşları da benzer şekilde Planck parametrelerini (Planck kütlesi, Planck zamanı ve Planck uzunluğu) kullanarak elektron yükü  $e$ 'nin bir temel sabit olamayacağını desteklemektedirler [7]. Dolayısıyla  $e$ 'ye bağımlı olarak tanımlanan  $\alpha$  sabiti de bir sabit olmaktan uzaklaşmaktadır. Tomilin ise bu durumun tam tersini savunmaktadır. Tomilin bağlaşım sabiti üzerine yapılan boyut analizinin  $c$ ,  $h$  veya  $e$ 'nin temel sabit olamayacağını garantilemediğini belirtmektedir [8]. Bunu, sözü edilen bu sabitlerin 1 alınabileceği bir sistem seçildiğinde  $\alpha$ 'nın Coulomb kuvvetindeki katsayı olacağını göstererek açıklamaktadır.

Gerçekte  $c$ ,  $h$  ve  $e$ 'nin temel doğal sabit olup olmadıkları tartışması daha gerilere dayanmaktadır. Bu konu pek çok bilim adamının (A. Einstein, M. Born gibi) gündeminde de yer almıştır. Yapılan araştırmalar boyutsuz bir sabit olan  $\alpha$ 'nın zamanla değişebileceğine işaret eden bazı kuramsal nedenlerin var olduğunu göstermektedir. Farklı kırmızıya kayma düzeylerinde kuasarların soğurum tayflarını ölçmek ya da farklı maddelerden yapılmış atom saatlerinin tıklama hızlarını kıyaslamak, kozmik mikrodalga fon ışınımını ve evrenin ilk zamanlarda elementlerin oluşumunu incelemek sabitin bu olası değişimini ölçme yollarından birkaçıdır [9]. Aşağıda ince yapı sabitinin evrenin oluşumundan bu yana değişimini gösteren bazı bulgulara kısaca değinilmiştir.

### 2. 1 Oklo Reaktörü

Orta Afrika ülkesi olan Gabon'daki bir uranyum madeninden alınan toprak örneklerinde U-235 (uranyum-235) miktarının beklenenin yarısı kadar olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebinin burada "doğal" bir reaktörün var olduğu şeklinde açıklanmıştır. Yaklaşık olarak 2 milyar yıl önce kaya yüzeylerinde biriken U-235 oksijenli suda çözüldükten sonra yosunlar üzerinde birikerek kritik kütleye\* ulaşmış ve doğal bir reaktör oluşturmuştur. Bu doğal reaktör de U-235'in yanmasına neden olarak U-235 miktarının beklenen düzeyinin altına düşmesine neden olmuştur. Leningrad Nükleer Fizik

---

\* Zincirleme çekirdek tepkimesinin gerçekleşmesi için, belli miktarda ki kütleli belli bir hacimde olması gereklidir. Gerekli olan bu en az miktardaki kütleyle kritik kütle, hacme de kritik hacim denir.

Enstitüsü'nden Alexander Shlyakhter, Oklo'dan alınan numunelerde samaryum-149'un\*\* , dünyadaki diğer örneklerde bulunan miktarının neredeyse yarısı kadar olduğunu fark edilmesiyle birlikte nötronların, enerji düzeyleri belirli bir seviyeye ulaştığında samaryum-149'un samaryum-150'ye dönüşebileceğini göstermiştir.

Böylelikle de sözünü ettiğimiz bu dönüşümün güçlü nükleer kuvvet ile itici elektromanyetik kuvvetin birbirlerini dengelemesinin bir sonucu olduğunu ve bu enerjinin  $\alpha$ 'ya bağımlı olacağını ifade etmiştir. Buradan elde edilen sonuç şudur: samaryum-149'un tükenimi de  $\alpha$ 'nın değerine bağlıdır.

$\alpha$  için gözlemlenen bu değişim oranının, karmaşık bazı hesaplamalarla  $10^{-7}$ 'den büyük olamayacağı tahmin edilmektedir. "Renyum tarihlendirmesi" adı verilen jeolojik ölçme tekniği ile elde edilen bulgularla yapılan hesaplamalar  $\alpha$ 'nın 4,6 milyar yıl içerisindeki değişim oranının  $10^{-7}$ 'den büyük olamayacağını göstermiştir. Evrenin 13,5 milyar yıllık yaşının yanında küçük kalan bu zaman dilimi içerisindeki değişimin yanı sıra evrenin çok daha erken yılları için değişim oranına da kuasarların yardımıyla yanıt verilebilmektedir [9].

## 2.2 Kuasarlar

Kuasarlar, merkezinde bulunan karadeliğin çekim kuvveti etkisiyle karadeliğe düşen gazın şiddetli bir ışınım yaymasıyla çok parlak bir şekilde görünen gökadalardır. Karadeliklerin, şiddetli kütle çekimi etkisiyle çevrelerindeki maddeyi ışığa dönüştürdüğü düşünülmektedir [9]. İşte bu noktada Wales'in açıklamaya çalıştığı üzere kütleli bir maddenin enerjisinin kütesiz bir maddenin enerjisine dönüşümünden söz edilmektedir diyebiliriz.\*

Kuasarlar ile ince yapı sabiti arasındaki ilişki ise şu şekilde verilmektedir: Geniş bir aralıkta dalga boyuna sahip ışık yayan kuasarlar, gökadayı çevreleyen gaz içinden geçerken bir kimlik tanımlarlar. Yani spektroskopide görülen soğurum çizgileri, gaz içerisinde bulunan elementlerin varlığını gösterirken bu çizgilerin yeğlinliği ise elementin gaz içerisindeki miktarını gösterir. Sonuçta soğurum çizgilerinin tanımlamış olduğu bu kimlik laboratuarda aynı atomlar için elde edilmiş kimlikler ile kıyaslanarak ışığın atomlar tarafından soğurulmasını açıklayan ince yapı sabitinin evrenin oluşumundan bu yana değişkenlik gösterip göstermediğini bulabiliriz.

Bu yönde yapılan araştırmalar sonunda elde edilen veriler ise  $\alpha$ 'nın geçmişten bu yana  $1/10^5$  oranında daha küçük olduğunu göstermektedir.

## 2.3 Atomik Saat Tıklamalarının Kıyaslanması

Atomik saatler ile zamanın duyarlı ölçümleri için, havasız bir ortamda bulunan gaz ? mutlak sifıra yakın bir değere kadar soğutularak lazer sistemi ile bir ölçüm sürecine tabi tutulur. Bu süreç içerisinde başka bir lazer ışını yardımıyla atomdan yayılan ışınımın "rezonans" eğrisi çizilir. Rezonans eğrisinin tepe değerinin belirlenmesiyle de zaman için çok duyarlı bir ölçüm yapılmış olur.

Rezonans frekansı, ince yapı sabiti  $\alpha$ 'ya bağlıdır. Farklı elementlerden yapılmış atom saatlerinin tıklama hızları da birbirinden farklı olacağına göre, farklı elementler için elde

---

\*\*Atom sayısı 62, atom ağırlığı 150,4 g/mol ve yoğunluğu  $7,75 \text{ g/cm}^3$  olan ve doğada nadiren bulunabilen Samaryum elementinin bir iztopu.

\* Wales maddeyi, durgun kütleyle sahip olan ve durgun kütleyle sahip olmayan madde olarak iki grupta sınıflandırmaktadır. İnce yapı sabitini de elektron ile foton arasındaki enerji alışverişinin büyüklüğünü ifade eden bir büyüklük olarak tanımlamaktadır.

edilen atom saatlerinin kıyaslanması  $\alpha$ 'nın zamanla değişimini göstermektedir diyebiliriz. Bu düşünceye göre elde edilmiş sonuçlar ise Oklo reaktörü ve kuasraların gözlenmesi ile elde ettiğimiz sonuçlarla uyum göstermektedir [9].

### 3. $\alpha$ 'nın Deneysel Olarak Belirlenmesine Yönelik Öneriler

Şimdiye kadar bu sabitin deneysel olarak ölçümü için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bunların bir kısmı doğrudan ölçümler (örneğin; Quantum Hall olayı, elektronun manyetik momenti anomalisi) iken bir kısmı da dolaylı (nötron  $h/m_n$  ölçümü v.b.) ölçümlerdir [10]. Her bir deneysel yöntemin güçlü ve zayıf yanlarının olduğu bir gerçektir. Bu yöntemlerin ayrıntılı ele alınışları ve sonuçları Kinoshita'nın 'Yeniden Gözden Geçirme' makalesinde görülebilir. Farklı deneysel yöntemlerle elde edilen  $\alpha$  değerleri birbirlerini milyonda bir mertebesine kadar teyit etmektedirler. Ancak bu mertebedeki farklılıklar göz ardı edilemeyecek türdendir. Kinoshita yukarıda sözünü ettiğimiz makalesinde (1996) şöyle demektedir [10]:

*“Eğer yapılacak teorik ve deneysel çalışmalara rağmen  $\alpha$  nın tutarlı bir değerine ulaşılamazsa bildiğimiz fizik ile bunun açıklanamayacağı sonucuna varabiliriz. Bununla şimdiki bilinen fiziğin çöküp çökmeyeceğini ve yerine yeni fiziğin ortaya çıkıp çıkmayacağını şimdilik söylemek mümkün değildir. Ancak böyle bir çöküş, eğer gerçekleşirse QED (kuantum elektrodinamiği) nin kısa mesafe geçersizliğine bağlanamayacağı savunulabilir. Gerçekte sadece QED değil, zayıf ve güçlü etkileşimin standart modeli veya sicim modeli de bu durum için bir işe yaramayacaktır.”*

Şu ana kadar ki ölçümler  $1/\alpha$  değerinin bir tam sayı olmadığını göstermektedir. Oysa ünlü astrofizikçi Eddington bunun bir tam sayı olduğunu ve değerinin 137 olduğunu iddia etmişti. Değişik bazı yöntemlerle ölçülmüş  $\alpha$  değerleri de Tablo 1'de verilmiştir. Karşılaştırma yapılabilmesi için CODATA 2006 değerleri de tabloda en alt bölüme eklenmiştir.

**Tablo 1:**  $\alpha$ 'nın deneysel değerleri

Kullanılan Yöntem [10]	$1/\alpha$	Hata (ppm)
Nötron $h/m_n$ ölçümü [10]	137.03601082	0.039
AC Josephson olayı [10]	137.03597707	0.056
Kuantum Hall olayı [10]	137.03600373	0.020
Elektron ve pozitronun manyetik momentleri anomalisi [10]	137.03599993	0.0038
Müyon aşırı ince yapı [10]	137.03599402	0.134
He atomu ince yapı [10]	137.35853379	0.73
CODATA(2006)*	137.03599679	0.094

\*  $\alpha^{-1}$  CODATA 2006 değeri, [http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?alphinv|search\\_for=alpha](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?alphinv|search_for=alpha) adresinden 01.01.2009 tarihinde indirilmiştir.



#### 4. $\alpha$ 'nın Teorik Olarak Belirlenmesine Yönelik Öneriler

$\alpha$ 'nın teorik olarak belirlenmesi için çeşitli öneriler getirilmiştir. Gilson [18] Feynman'ın  $\alpha$  - sabitin Pi ve/veya logaritmaya, taban sayısı  $e$ 'ye bağlılığı var mı acaba – sorusunu dikkate alarak ve vakum polarizasyonu bağıntısından yola çıkarak gerçekten de  $\alpha$ 'yı belirleyen bir bağıntı elde edebilmiştir. Bu arada bu sabitin aslında relativite ile kuantum fiziği arasında bir köprü olduğunu belirtmektedir. Bunu, yakalanmış elektron dalgası modeli ile açıklamaktadır. Sommerfeld ise bunu relativite etkisine bağlı olarak açıklamıştı aslında [1]. Çünkü onun zamanında madde dalgası kavramı henüz bilinmiyordu.

Sommerfeld, Hidrojen atomu Bohr yörüngesi elektronunun hızını ışık hızına oranlayarak  $\alpha$  için bir değer elde etmiştir [20].

$$\alpha = \frac{v_1}{c}$$

Lewis ve Adams ise ,  $\alpha$ 'yı şu şekilde tanımlamıştır [20]:

$$\alpha = \frac{k^4 \epsilon e'^6}{e^6 \theta^4}$$

Burada k Boltzman sabitini göstermek üzere,  $\epsilon = \alpha T^4$ ,  $\theta = kT$ ,  $e' = 4\pi e$  dir.

Arthur C. Lunn'un ince yapı sabiti ile gravitasyon arasındaki ilişkiyi açıklayan ifadesi de şu şekildedir [20]:

$$\frac{M}{m} = \frac{\alpha^{-2} \pi}{32}$$

James Rice'in  $\alpha$ 'nın değerini bulmak için ortaya atmış olduğu bağıntı;

$$\left( \frac{2\pi}{\alpha} \right) = \frac{hc}{e^2} = \frac{8\pi^3 R\rho}{3r^2} \text{ biçimindedir.}$$

Burada r elektronun yarıçapını, R Einstein kapalı evren eğrilik yarıçapını,  $\rho$  elektronun gravitasyonel etki alanını göstermektedir [20].

$\alpha$  için diğer bir öneri M. Wales'den gelmiştir. Wales ise Planck sabitine benzer şekilde bir W sabiti tanımlayarak bilinen kuantum fiziğini farklı yorumlayan bir bakışla karşımıza çıkmaktadır [11].

$$\alpha = \frac{w}{h}$$

## 4.1 Gilson Yöntemi

Gilson, Feynman'ın  $\alpha$  sabitinin özel bir şekilde  $\pi$  sayısına ve dolaylı olarak da taban sayısı  $e$ 'ye bağımlı olabileceği düşüncesini destekler nitelikte bir yöntem geliştirmiştir.  $\alpha$ 'yı temel kuantum bağlaşım sabiti olarak tanımlar ve bu sabitin nümerik değerini,  $n_1$  ve  $n_2$  tamsayılarına bağılı olarak ifade eder [19]:

$$\alpha(n_1, n_2) = n_2 \cos(\pi / n_1) \tan((\pi / n_1 \times n_2)) / \pi$$

Bu bağıntının kökeni vakum polarizasyonuna dayanmaktadır (**bkz. Ek-2**).

$\alpha_G$ , 1994 yılında Gilson tarafından Schrödinger Kuantum Teorisine karşı klasik olarak yapılandırılmış alternatif bir teoriyi açıklayan ve sonuç olarak Maxwell teorileri yapısına dönüşen bir formüldür. Maxwell'in tanımladığı üzere  $\hbar$  sabiti, faz uzayında  $N=137$  kuantum sayısı ile birlikte bir klasik açısal momentum kuantumu şeklinde davranır. Gilson,  $\alpha$ 'nın teorik değerini elde etmek amacıyla Combinatorial Hierarchy metoduna\* dayanan ilginç bir yapı tasarlamıştır [15]. Bu yapı daha sonra detaylı olarak incelenecektir.

$\alpha$ 'nın nümerik değeri  $n_1=137$  ve  $n_2=29$  için;

$$\alpha = \alpha(137;29) = \frac{29 \cos(\pi/137) \tan(\pi/(137 \times 29))}{\pi} = 0.00729735253186... \text{ elde edilir.}$$

Bu değer deneysel sonuçlara dayanan CODATA değeri ile  $10^{-10}$  mertebesine kadar uyuşmaktadır.\*\*

$\alpha$ 'nın  $\pi$  sayısına olan bağımlılığı çok derin bir anlam taşımaktadır. Bu bağıntı geometrik olarak göz önünde şu şekilde canlandırılabilir:

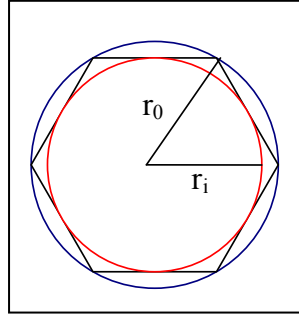
İki adet düzgün çok kenarlı düşünülün. Bu düzgün kenarlının kenar sayısı  $n$  olsun. Kenar sayısı sonsuza doğru gittikçe çok kenarlı artık bir daire biçimini alacaktır. Gilson burada  $\pi_{iç}$  ve  $\pi_{dış}$  olmak üzere iki farklı eşitlik tanımlamaktadır. Bu eşitlikler, bir tamsayı olmak şartıyla  $n$  parametresine bağımlıdır.  $\pi_{iç}$  ve  $\pi_{dış}$ ,  $\pi$ 'nin çok basit fakat çok anlamlı bir genellemesi olarak görülebilir.

$$\pi = \frac{\text{çevre}}{\text{çap}} \text{ tanımlandığından, çevreyi söz konusu çok kenarlının çevresi olarak}$$

aldığımızda  $\pi_{iç} = \text{çevre}/r_0$  ve  $\pi_{dış} = \text{çevre}/r_1$  olarak elde edilir. Burada  $r_0$ , çok kenarlının merkezinden köşesine olan uzaklığı,  $r_1$  ise çok kenarlının merkezinden kenar ortasına kadar olan uzaklığı göstermektedir. Şekil 2'de görüldüğü üzere çok kenarlıya içten ve dıştan teğet çemberler çizildiğinde,  $r_0$  dış teğet çemberin yarıçapı,  $r_1$  ise iç teğet çemberin yarıçapına denk gelir.

\* Fiziksel durumların bu metoda bağılı olarak geliştirilen yapıya iyi bir şekilde uyum sağladığı, genel olarak kompleks sistemi tanımlayan matematiksel bir metottür.

\*\* 1999 CODATA deneysel verilerine göre  $\alpha = 0.007297352533(27)$ , 2006 CODATA deneysel verilerine göre  $\alpha = 0.0072973525356(50)$  elde edilmiştir.



**Şekil 2:** Düzgün bir çok kenarlıya içten ve dıştan teğet çizilmiş çemberler

$n_1$  ve  $n_2$  tam sayı parametrelerine bağlı olarak ince yapı sabiti;

$$\alpha(n_1, n_2) = \frac{n_2 \cos(\pi/n_1) \tan(\pi/(n_1 n_2))}{\pi} = n_2 \cos\left(\frac{\pi}{n_1}\right) \frac{\tan(\pi/(n_1 n_2))}{\pi} \text{ şeklinde tanımlanmıştır.}$$

$$\pi = \frac{C}{2r} = \frac{\text{çevre}}{\text{çap}}, \quad \pi_i(n) = n \tan(\pi/n) \text{ ve } \pi_o(n) = \sin(\pi/n) \text{ olmak üzere, çok kenarlının}$$

kenar sayısı  $n$  sonsuza götürülürse çokgen bir çembere dönüşür. Bu durumda;

$$\begin{aligned} \pi_o(n) &< \pi < \pi_i(n) \\ \pi_i(\infty) &= \pi_o(\infty) = \pi \end{aligned} \text{ olur.}$$

$$\alpha(n_1, n_2) = \frac{\cos(\pi/n_1) \pi_i(n_1 n_2)}{n_1 \pi} \text{ eşitliğinde } \pi_i(n) = n \tan(\pi/n) \text{ ifadesi yerine}$$

yazılırsa;

$$\alpha(n_1, n_2) = n_2 \cos\left(\frac{\pi}{n_1}\right) \frac{\tan(\pi/n_1 n_2)}{\pi} \text{ elde edilir (bkz. Ek-3).}$$

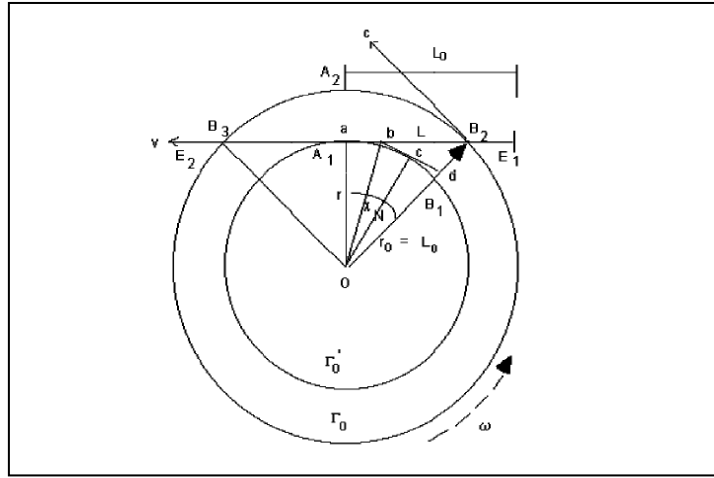
Gilson tarafından  $\alpha_G = \cos(\pi/N)/N$  şeklinde ifade edilen bağıntı ise  $N=137$  için  $\alpha$ 'nın deneysel değerine çok yakın bir sonuç vermektedir. Bu bağıntıya göre  $\alpha$  için yazılabilecek değer,  $N$  sayısına ve  $\chi_N = \frac{\pi}{N}$  açı değerine göre elde edilir. İfadede yer alan  $N$  terimi klasik kuantumlanma katsayısı gibi davranır. Teori, faz uzayında bulunan geometrik yapı enerji öz durumlarına uygulandığında  $N$ ,  $\ell_c$ 'nin belli bir açı değerine karşılık gelen çizgisel uzunluk değerinin kuantum katsayısı olarak karşımıza çıkar:

$$r = N \ell_c$$

Gilson'un teorisinde söz ettiği dalga yakalaması diyagramı (Wave capture diagram), toplam enerjisinin sayısal değeri bir durgun elektronun enerjisine ( $E = m_0 c^2$ ) eşdeğer olan kuantum durumları faz uzayının altyapısının detaylarını göstermektedir. Diyagram,  $N$  tam sayısı üzerine kurulmuş olan bir kuantumlanmış yapı olarak inşa edilmiştir. Bu yapıda

görülen, klasik elektronun yarıçapına sahip olan iç dairenin yarıçapı ( $r_i$ ), davranışları Dirac denklemleri ile açıklanan temel parçacıkların (elektron gibi) titreşim hareketinin “zitterbewegung state”<sup>\*</sup> yarıçapı şeklinde düşünülebilir. Bu yapıda bir de dış çember tanımlanmıştır. Bu dış çemberin yarıçapı ( $r_o$ ),  $L_0 = 2\ell_0$  uzunluğunda olup büyüklüğü Compton dalga uzunluğunun  $2\pi$ 'ye bölünmesiyle elde edilir. Bu kinematik geometrik yapının temel prensibini dalga yakalamasını mümkün kılan relativistik (görelî) uzunluk büzülme etkisi oluşturmaktadır. Bu etki ile  $B_2$  ve  $A_1$  noktaları arasında kalan ve  $L = (1 - (v/c)^2)^{1/2}$  ile tanımlanan uzunluğun daha küçük olan parçasından söz edilmektedir. Daire dilimine karşılık gelen  $(\pi/137)$  açı değerinin çok küçük olmasından dolayı da dalga hızının değeri çok büyük elde edilmektedir.

$$v = \cos(\pi/137)c$$



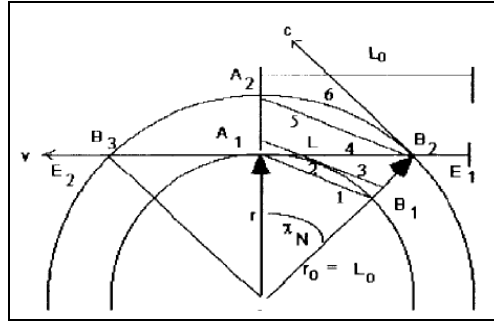
Şekil 3: Daire dilimi içerisindeki dalga yakalaması [15]

Bir boyutlu Schrödinger Kuantum Teorisi ile belirlenen klasik fizik yapısı, standart stokastik teorisi dahilinde açıklanan ‘basit vakum polarizasyonu harmonik osilatör’ üzerine kurulmuş bir yapıdır [13]. Oluşturulan bu model, titreşim hareket karakteristiği gösteren ve ışık hızı ile hareket eden temel parçacıkların faz hızı vektörleri ile tanımlanan iki boyutlu faz uzayı yapısı (yüzey ya da alan) üzerine inşa edilmiştir. Açısal momentum durumları göz önünde bulundurularak ifade edilen olasılık yoğunluğu kavramını tanımlayan Hermitsel skaler çarpım (iç çarpım) yapısını açıklar. Fiziksel durumlara karşılık gelen ve matematiksel olarak inşa edilmiş olan model, genişletilmiş uzayda serbestçe hareket edebilen pozitif kütleli parçacıklara ek olarak negatif kütleli parçacıkların hareketini de içerir. Gilson’un geliştirmiş olduğu bu teori, fotonların gelişigüzel (rastgele) hareketlerine (erratic zig-zag motion) bağlı davranış gösteren kütleli parçacıkların teorik yapısını ifade eder. Başlangıçta Dirac tarafından ışık parçacığı olarak adlandırılan fotonların bu düzensiz (rastgele) davranışları, daha sonra zitterbewegung (titreşim hareketi) olarak tanımlanmıştır. Yüksek boyutta vakum titreşim (dalgalanma) hareketi için yapılmış klasik model, bir boyutlu Schrödinger eşitliklerinin tanımladığı fiziksel süreçlere benzer yapıları açıklar. Kompleks dalga fonksiyonları ve bu dalga fonksiyonlarının doğrusal süperpozisyon ilkeleri bir boyutlu klasik model ile açıklanamamaktadır. Fakat stokastik teori standartları üzerine kurulmuş yüksek boyutsal

\* Almandan çevrilmiş ve İngilizce karşılığı “trembling motion” olan bir kelimedir. Bu kelimenin Türkçe karşılığı ise titreşim hareketidir.

uzayda bulunan uygun klasik model, yoğunluk Hermitsel çiftdoğrusal biçimlerin ve fiziksel durumları ifade eden dalga fonksiyonlarının mümkün olabileceğini göstermiştir [13].

N kuantumlanma katsayısına bağlı olarak  $\chi_N = \pi/137$  açısız değeri açısız kuantumlanmayı gösterir ve bu açısız parçaya karşılık  $v = \cos(\pi/137)c$  anlık hızı ile hareket eden dalga,  $A_1A_2B_2B_1$  noktaları tarafından sınırlandırılmış halka biçimindeki bölgeye hapsolür. Bu bölge dalga yakalanmasını ifade etmek üzere (wave trapping) T-bölgesi olarak isimlendirilir. Burada göreliliğın etkisiyle Lorentz büzölmeleri altında  $L_0=2l_0$  uzunluğında olan dış çemberin yarıçapı azalarak  $B_2A_1$  noktaları arasındaki uzunluğaya (L) ulaşır. Eğer, bu alanın oluşturulmasında düzeltme ayar dönüşömleri yer alsaydı, açısı değeri  $\chi_N$ 'in çok küçük aynı zamanda içsel ve dışsal yarıçap değerlerinin birbirine çok yakın olmasından dolayı bir çözüme ulaşmak çok güç hale gelecekti. Şekilde göröldüğü üzere T-bölgesi kapalı alan gerçekte kavisli halkasal bir daire dilimini göstermektedir. Fakat hesaplamalarda bir yaklaşıklık yapılarak ikizkenar bir yamuk şeklindeki kapalı alan gibi düşünölür. İşte buradan yola çıkarak T -bölgesi yakalanmış dalga sınırlaması dahilinde elde edilebilen alfa değeri için bu yaklaşım anahtar rol oynamaktadır. Şekil 3'te 1,2,3,4,5,6 rakamlarıyla gösterilen ve  $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$  ve  $s_6$  olarak adlandırılan sonlu uzunlukta 6 farklı eğri çizilmiştir. Nökleer manyetik rezonans teknikleri kullanılarak  $\alpha_{Nuc} = 0.00729735308$  değeri elde edilmiştir. QED düzeltmeleri kullanarak da alfa için birtakım kesin değere ulaşılmıştır.



Şekil 4: T-bölgesi kapalı bölgesi [15]

Şekil 4'te tanımlanan eğrilerin uzunlukları  $2\pi l_0$  uzunluğuna bölündüğü zaman ince yapı sabitinin değerine yaklaşık değerler elde edilir. Böylelikle alfanın teorik değerini elde etmek için basit bir formöl geliştirilmiş olur. Bu değerler tablo 3'de gösterilmiştir.

**Tablo 3:** T-bölgesi kapalı alan eğri uzunluklarına bağlı olarak elde edilmiş  $\alpha$  teorik değeri [15]

Eğri	Uzunluk = $S_n$	$S_n/2\pi l_0$	Değer
$S_1$	$2Nl_c \sin(\chi/2)$	$2N \sin(\chi/2)\alpha_2/\pi$	0.00729719113
$S_2$	$\pi l_c$	$\cos(\chi)/N = \alpha_G = \alpha_2$	0.00729735101
$S_3$	$2Nl_c \tan(\chi/2)$	$2N \tan(\chi/2)\alpha_2/\pi = \alpha_3$	0.00729767080
$S_4$	$2l_0 \sin(\chi)$	$\sin(\chi)/\pi = \alpha_4$	0.00729863037
$S_5$	$4l_0 \sin(\chi/2)$	$2 \sin(\chi/2)/\pi = \alpha_5$	0.00729911915
$S_6$	$2l_0\chi$	$\chi/\pi = 1/N = \alpha_6$	0.00729927007

Alfa ailesi olarak belirlenen bu değerlerden sadece bir tanesi kesin değeri elde etmede kullanılabilir. “Dalga kırılması” düşüncesi sonucu bir takım formüller elde edilmiştir ki bu formüllerde karşımıza çıkan  $N_b$  terimi ardışık (birbiri sıra gelen) kapalı sınırları ifade eder. B alt indisi ise kırılmanın bir simgesidir.

Gilson  $\alpha$ 'nın değerinin teorik bir şekilde elde edilmesinin temelinde, QED yasalarına uyan nükleer rezonans deney sonuçlarının yattığını söylemektedir. Fiziksel sabitlerin kesin değerlerinin elde edilebilmesi için birçok deney gerçekleştirilmiş ve istatistik verilere dayalı hassas analizler yapılmıştır.  $\alpha_{ex}$  değerleri  $\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c}$  şeklinde tanımlanan bağıntı ile hesaplanmıştır. İfadede yer alan  $e$ ,  $\hbar$ ,  $\epsilon_0$  ve  $c$  değerleri için de deneysel değerler kullanılmıştır.

**Tablo 2:**  $\alpha$ 'nın farklı deneysel değerleri ve Gilson teorisine göre elde edilmiş değerler [15]

İsim	Değer	Kaynak
$\alpha_{exmin}$	0.00729734425	Hassas deneysel ölçüm
$\alpha_G$	0.00729735101	Gilson Teorisi
$\alpha_{Nucmin}$	0.00729735275	NR, QED
$\alpha_{ex}$	0.007297353077	Hassas deneysel ölçüm
$\alpha_{Nuc}$	0.00729735308	NR, QED
$\alpha_{Nucmax}$	0.00729735341	NR, QED
$\alpha_{exmax}$	0.00729736190	Hassas deneysel ölçüm

$\alpha$ 'nın taban sayısı  $e$ 'ye olan bağımlılığına da dolaylı olarak şu şekilde ulaşılabilir. Uzayda herhangi bir konumda yer alan bir parçacığın yakınına dairesel bir hareket yapan ikinci bir parçacık getirildiğinde bu iki parçacık bir şekilde etkileşir. İki boyutta dairesel hareket bağlaşım sistemleri için seçilen genel bir formdur. İki parçacıklı bir sistem için iki boyutta dairesel hareket, kompleks sayılar ( $i$ ) ve keyfi seçilen açı ( $\theta$ ) değerleri içeren  $e^{i\theta}$  fonksiyonları ile tanımlanır. Bu tanım, kuantum durumlarının matematiksel ifadelerinin kompleks sayıları temel alması düşüncesinden yola çıkılarak oluşturulmuştur. Gilson, ince yapı sabitini bir kuantum bağlaşım sabiti olarak tanımladığına göre bu yaklaşımı yapması hiç de şaşırtıcı görülmemektedir. İşte bu noktada da  $\alpha$  sabitinin taban sayısı  $e$ 'ye bağımlılığı söz konusu olmaktadır.

## 4.2 Wales Yöntemi

İnce yapı sabitinin değerini elde etmek için bir öneri de M. Wales'den gelmiştir. Bu önerisinde Wales, Planck sabitine benzer şekilde yeni bir sabit ( $w$ ) tanımlamıştır [11]. Wales maddeyi iki kategoride ele almaktadır:

1. Durgun kütleye sahip olmayan madde; ışık hızı ile gözlemciye ulaşan her şey; örneğin fotonlar gibi.
2. Durgun kütleye sahip olan madde; ışık hızından daha küçük hızlara sahip olan madde; örneğin elektronlar gibi.

Planck sabiti  $h$ , elektromanyetik dalga etki (enerji ve zamanın çarpımı) kuantumu şeklinde tanımlanırken, yeni bir sabit olan  $w$  ise benzer biçimde elektronun etki kuantumu şeklinde tanımlanmaktadır.  $h$  sabiti, siyah cisim ışınım enerjisi fonksiyonlarını tanımlama girişimleri sırasında ortaya atılmış, etki boyutunda olan bir sabittir. Buradan yola çıkarak Planck sabitinin elektromanyetik radyasyon ya da foton gibi ışık hızı ile hareket eden, yani kütlesi ölçülemeyen büyüklükleri anlattığını söyleyebiliriz. Wales sabiti ise ışık hızından daha küçük hızlarla hareket eden yani kütlesi ölçülebilir büyüklükleri anlatır.

Bununla da Wales,  $\alpha$ 'yı bu iki etki sabitlerinin oranı olarak tanımlıyor ki bu sabit elektron ile foton arasındaki enerji alışverişinin büyüklüğünü ifade etmektedir. Yani burada ince yapı sabiti, elektron ve fotonlar arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir bağlaşım sabiti olarak karşımıza çıkmaktadır:

$$\alpha = \frac{w}{h}$$

$\alpha$ 'nın fiziksel tanımı şu şekildedir:

$$\alpha = \frac{\mu_0 c Q^2}{2h}$$

Burada  $\mu_0 = \frac{1}{\epsilon_0 c^2}$  dir.

Her iki tarafı  $h$  ile çarpılırsa;

$$\alpha h = \frac{\mu_0 c Q^2}{2} \text{ elde edilir; bu da bize } w \text{ sabitinin değerini verir;}$$

$$w = \frac{\mu_0 c Q^2}{2} . \mu_0, c \text{ ve } Q \text{ için sayısal değerler yerine yazıldığında;}$$

$$w = 4.835281 \cdot 10^{-36} \text{ Joule/saniye ve } \alpha = \frac{w}{h} = 7.2973 \cdot 10^{-3} \text{ bulunur.}$$

Etki, tanımı gereği fiziksel hareket ile ilişkilendirilen bir büyüklüktür. Wales, başlangıçta seçilen elektron durgun dahi olsa elektronun iç enerjisinden\* kaynaklanan bir etki bileşeninin var olduğundan söz etmektedir. Sözü edilen bu hareket, elektronun spin hareketine karşı gelmektedir. Spin hareketi, kendi etrafında devamlı süregelen bir dönme hareketi olup ışık hızında gerçekleşir. Bu durum da elektronun elektromanyetik dalga hareketine (elektronun dalga özelliği) karşılık gelir ki elektronun toplam enerjisinin yarısının manyetik diğer yarısının da elektrik enerjisi olmasını açıklar.

Wales'in ortaya atmış olduğu görüşlerden bir diğeri de Planck sabitinin Bohr'un iddia ettiği gibi açısal momentum ya da enerjiyi kuantalayan bir sabit olmadığı, bu sabitin etkiyi kuantaladığı şeklindedir. Bu kanıya Einstein eşitliğinden yola çıkarak varmıştır:

---

\* Fizikte maddeler boşlukta bulunurlar ve maddelerin enerjileri vardır. Hareket halinde bulunmayan durgun maddelerin dahi bir enerjisi vardır. Bu enerji "iç enerji" olarak adlandırılır.

$E = hf$  eşitliğine göre  $h$  sabitinin boyutu;

$$[Enerji] = \left[ \frac{ML^2}{T^2} \right] \text{ ve } [f] = \left[ \frac{1}{T} \right]$$

$[h] = \left[ \frac{E}{f} \right] = \left[ \frac{ML^2}{T^2} \right] [T]$  bulunur. Buradan da  $h$  sabitinin etki boyutunda olduğu kolayca görülebilir.

Elektromanyetik dalga (foton) enerjisi frekansın sürekli bir fonksiyonu şeklinde tanımlanır. Burada fotonun enerjisini tanımlayan Planck sabiti değildir. Yani Plank sabiti fotonların alabileceği enerji değerlerini belirlemez. Teorik olarak fotonlar enerjinin sürekli fonksiyonlarını temsil ederler. Bunun matematiksel tanımı ise bir sabit sayı, bir tam sayı ve sürekli bir fonksiyonun yine bir sürekli fonksiyonu tanımlaması şeklinde yapılır. Bu da kuantalamanın kararlı elektron davranışı tanımından yola çıkılarak oluşturulamayacağına işaret eder. Bunun fiziksel anlamı ise  $h$ 'ın enerjii tanımlayan frekans parametreleri üzerinde işlem yapan bir sabit katsayı olmasıdır [11]. Bu katsayı elektromanyetik dalga yayılımını açıklamakta yetersiz kalmaktadır (Bohr'un çözmeye çalıştığı sorun da buydu).

Tüm bunlar kararlı yörünge enerjilerinin sürekli fonksiyonlar tarafından tanımlanması gerektiğini gösterir; fakat deneysel sonuçlar farklı sonuçlar verir. Çünkü bu varsayım klasik atom kararsızlığını açıklayamamaktadır. Elektronlar yörüngelerde dolarken elektrik yükü taşıdıkları için bir elektromanyetik dalga yayınlırlar. Bu şekilde enerji kaybeden elektronun yarıçapı giderek azalır ve yörünge kısalma hızı kabaca hesaplanan bu elektronların  $10^{-11}$  s sonra çekirdeğe düşmesi beklenir. O zamanda bildiğimiz kararlı elektron yapısı gözlenemez.

Wales yörüngede dolanan elektronun kinetik enerjisi  $\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$  ve Bohr koşulundan

$$(mvr = \frac{nh}{2\pi}) \text{ yola çıkararak;}$$

$$E_n T_n = \frac{nh}{2} \text{ etki tanımını yapmıştır.}$$

Burada yörüngede dolanan elektronun etki kuantumunun  $h$  sabitinden farklı olarak  $h/2$  olduğuna dikkat çekmektedir. Diğer bir şekilde etki;

$$Etki = \frac{\mu_0 ce^2}{t} \text{ şeklinde tanımlanır ve burada } t \text{ etki süresidir.}$$

İnce yapı sabiti, ideal Bohr atomu enerji seviyeleri arasında gözlemlenen küçük farklılıkları (bu küçük farklılıklar manyetik alan etkisi altında gözlemlenir) anlatan bir sabittir. Sommerfeld ve Dirac, ince yapı sabitini tanımlamaya çalışırken relativistik etkileri de göz önünde bulundurmışlardır. Dairesel olmayan yörüngeler üzerine yoğunlaşarak, relativistik etkiler sonucu gözlenen kütle değişimini de dikkate almıştır. Bu kütle değişimi ise sistemin dejenereliğini\* ortadan kaldırır ve bu durumda ince yapı bileşeni ikinci dereceden pertürbe olmuş\*\* kuantum durumlarına bağlı olarak tanımlanır. Wales ise Sommerfeld ya da Dirac'ın yapmaya çalıştığı gibi bu relativistik etkileri hesaba katmanın basit Hidrojen atomu yapısını (bkz. Ek-4) çok karmaşık bir hale getirdiğini söyleyerek,  $\alpha$ 'yı atomun ince yapı yarımları dışında kalan bir sabit olarak tanımlar.

\* Aynı enerjiye sahip kuantum durumlarıdır [16].

\*\* Etkileşme potansiyel enerjilerinin sistemin enerji seviyelerine getirdikleri küçük katkıları hesaplamak için kullanılan yaklaşım metodudur.



$$\alpha = \frac{w}{T_e} = \frac{h}{T_p} = mc^2$$

Yani spektrumlarda da görülen enerji düzeylerindeki yarılmaların (ince yapı) bu sabit ile tanımlandığı fakat bu enerji yarılmalarının sebebinin ince yapı olmadığı şeklinde farklı bir yaklaşım yapar.

Wales modelinde üç farklı etkiden söz etmektedir.

$T_p$ : Compton fotonu etki süresi,

$T_e$ : Elektron spinin kendi etrafında bir tam tur dönmesi için geçen süreyi,

$T_o$ : Bohr elektronunun yörüngede bir tam tur dolanması için geçen süreyi ve

$E_o$ : Bohr yörünge enerjisini

göstermek üzere tanımladığı etkiler;

$$1) T_p \cdot m \cdot c^2 = h$$

$$2) T_e \cdot m \cdot c^2 = w$$

$$3) T_o \cdot E_o = h/2 \quad \text{şeklindedir. Buradan } T_p, T_e \text{ ve } T_o \text{ in sayısal değerleri;}$$

$$T_p = 8.09330093287 \cdot 10^{-21} \text{ s}$$

$$T_e = 5.9059674434 \cdot 10^{-23} \text{ s}$$

$$T_o = 1.519829849968 \cdot 10^{-16} \text{ s} \quad \text{bulunur.}$$

Gözlemler ve yapılan deneyler belirli koşullar altında elektronun fotona (yani fiziksel nesnelere fiziksel olmayan nesnelere) dönüşebileceğini göstermektedir. Elektron ile pozitronun birbirlerini karşılıklı yok etmeleri sonucu iki tane foton açığa çıkmaktadır.

$$mc^2 = \frac{h}{T_p} \quad \text{eşitliği de bize elektronun tüm enerjisinin Compton foton enerjisine}$$

dönüştüğünü söylemektedir.

Wales, etki sürelerini aşağıdaki şekilde tanımlamıştır:

$$T_o, T_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{V} \quad \text{ya da } T_0 = \frac{\mu_o e^2}{2mc\alpha^3} \quad \text{biçiminde yazılabilir.}$$

$$T_e = \frac{\mu_o e^2}{2mc} \quad \text{şeklindedir.}$$

Yukarıda verilen eşitliklerde CODATA verileri kullanılırsa;

$$\frac{T_o}{T_e} = \frac{1}{\alpha^3} = 2573379.993 \quad \text{ve } \alpha = 1/137.0359895 = 0.007297353073 \quad \text{bulunur.}$$

Wales tanımlamış olduğu iki etki zamanının da sabit bir sayı olmasından yola çıkarak bu iki sayının birbirine oranından bir tamsayı elde edilmesi gerektiğine inanmış ve

$$\frac{T_o}{T_e} = \frac{1}{\alpha^3} = 2573380 \quad \text{olarak hesaplamıştır.}$$

Teorinin oluşturulması esnasında üç farklı durumdan söz edilmektedir. Bunlar;

- Serbest elektron,
- Bohr atomu (kararlı elektron) ve
- Foton enerji dönüşümleridir.

Üç durum için verilen etki süreleri arasındaki ilişki  $\alpha$ 'ya bağlı olarak;

$$\frac{T_p}{T_e} = \frac{1}{\alpha} \quad \text{ve } \frac{T_o}{T_p} = \frac{1}{\alpha^2} \quad \text{şeklinde ifade edilmiştir.}$$

Buradaki ilk eşitlik, Coulomb çekim kuvveti etkisi altındaki elektronun iki fotona dönüşümüne karşılık gelen bağlaşım sabitine karşılık gelirken, ikinci eşitlikte yayınlanan fotonun dışında kalan ve elektrona geri dönüşen diğer elektronun enerji dönüşümünü tanımlayan bağlaşım sabitine karşılık gelmektedir.

Buradan;

$$\left(\frac{T_p}{T_e}\right)\left(\frac{T_0}{T_p}\right) = \left(\frac{1}{\alpha}\right)\left(\frac{1}{\alpha^2}\right) = \left(\frac{1}{\alpha^3}\right) \text{ bulunur.}$$

$$Br = \left(\frac{T_e c}{2\pi\alpha^2}\right) = \frac{T_0 c \alpha}{(2\pi)} = \frac{T_p c}{(2\pi\alpha)} \text{ ya da}$$

$$\text{Hidrojen atomu yörünge enerjisi} = \frac{E\alpha^2}{(2n^2)} \text{ dir.}$$

Burada E durgun elektron enerjisi olup ifadenin yalnızca n değişkenine bağlı olarak tanımlanmasına dikkat çekilmektedir. Enerji ifadesi relativistik etki terimlerini içermemekte sadece  $\alpha$ 'ya bağlı olarak ifade edilmektedir.

Dejenere kuantum durumları için  $T_o = nT_e$  (n: tamsayı) dir.

$n \geq 1$  durumları için Bohr koşulu göz önünde bulundurulursa;

$$mvr = \frac{nh}{(2\pi)}$$

$$n = \frac{2T_o E_o}{h} \text{ (E}_o \text{ yörünge enerjisidir)}$$

$$E_o = \frac{E_e \alpha^2}{(2n^2)} \text{ (E}_e = mc^2)$$

$$\frac{w}{T_e} = E_e$$

$$E_o = \frac{w\alpha^2}{(2T_e r n^2)} \text{ ve } \frac{T_o}{T_e} = t_n = \left(\frac{n}{\alpha}\right)^3 \text{ elde edilir.}$$

Görüldüğü üzere Wales'in hesaplamış olduğu  $\alpha$  değeri, deneysel değerler ile büyük bir uyum göstermektedir. Fakat yapılan bu yeni yaklaşım sonucu elde edilen teorik sonuçlar akılları kurcalayan birçok yeni soruyu da beraberinde getirmektedir.

## 5. Sonuç

Bağlaşım sabiti  $\alpha$ , bulunuşundan bu yana yaklaşık 90 yıl geçmiş olduğu halde hala çağdaş fizikte kesin değeri belirlenemeyen "gizemli" bir sabittir. Bunun değerinin kesin olarak belirlenebilmesi fizikte özel bir önem taşımaktadır.  $\alpha$  'nın tutarlı bir şekilde belirlenememesi günümüz geçerli fizik yasalarını sorgular duruma getirebilir.

Deneysel yöntemler arası uyumsuzluklar ppm mertebesinden de olsa henüz tam uyumlu sonuçlar elde edilememektedir.  $\alpha$  'nın deneysel olarak belirlenebilmesi için şimdiye kadar doğrudan ya da dolaylı beşten fazla deneysel yöntem geliştirilmiştir.

$\alpha$  'nın teorik olarak hesaplanması için yukarıda da değinildiği üzere farklı yaklaşımlar yapılmıştır. İlk önceleri nümerolojik olarak yapılan hesaplamalar ile  $\alpha$  'nın değeri belirlenmeye çalışılmıştır. Şimdilerde ise bunun yanında fiziksel dayanaklar arayan yöntemler

de geliştirilmeye çalışılmaktadır. Ünlü astronom Eddington'un çalışmaları nümerolojik hesaplamalara örnek olarak verilebilir. Gilson ve Wales yöntemleri ise ikinci duruma örnektirler. Gilson relativite ile kuantum fiziğini bağdaştıran bir sabit olarak  $\alpha$  'yı görürken, Wales bunu elektronun etki kuantumu ile fotonun etki kuantumu olarak tanımlamaktadır.

Wales'in sonucu, başta fiziksel sabitlerin standartlaştırılmış değerlerinin değişmesi olmak üzere, pek çok şeyin yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Elbette ki öncelikle bu değerlerin doğruluğu kesin hale getirilmelidir. Bu konunun enine boyuna tartışılıp netleştirilmesi gerektiği şüphe gerektirmeyen bir açıklıktır.

Wales'in tanımlamış olduğu "w sabiti elektron ile foton arasındaki enerji alışverişini açıklayan bir bağlaşım sabitidir. Burada nasıl oluyor da kütleli bir parçacığın (elektron) enerjisinin kütsüz bir parçacığın (foton) enerjisine dönüşebileceği sorusuna bir yanıt aranmaktadır. Bu sorunun yanıtı Wales sabitinde gizlidir. Buradan hareketle ince yapı sabitinin de elektronların atom ve moleküller içinde çekirdeklere bağlandıkları gücün derecesini belirttiğini söyleyebiliriz [9]. Bu güç, proton ve elektron arasındaki etkileşimin bir ölçüsünü gösterdiğine proton ve elektron gibi parçacıklar arasındaki ilişkiden söz ediyoruz demektir. Bu noktadan sonra  $\alpha$  ile ilgili olarak cevap bekleyen çok sayıda yeni soru ile karşılaşmaktayız:

1. Peki etkileşim halinde bulunan parçacıklar elektron ya da fotondan farklı olsaydı elde edeceğimiz sabitin değeri ne olurdu?
2. Ortamlarda etkin elektron veya delik kütleleri ile foton bağlaşımı için  $\alpha$ 'nın değeri ne olurdu?
3. Raydberg türü atomlar ve uyarılmış Hidrojen atomu için  $\alpha$  bağlaşım sabiti ne olurdu?

Görüldüğü gibi bağlaşım sabiti  $\alpha$  her yönden gizemini korumakla beraber, çözülmeyi bekleyen birçok yeni soruyu da akıllara getirmektedir.

## 6. Ekler

### Ek-1: Dört Temel Kuvvet

Bütün fiziksel olaylar 4 tür etkileşim ile açıklanmaktadır. Parçacıklar arasında var olan bu etkileşimlerden sorumlu olan dört çeşit de parçacık vardır. Bu parçacıklar 'kuvvet taşıyıcısı' olarak isimlendirilirler. En azından şimdiki bilimsel durum bunu bize sunmaktadır.

**Tablo 1:** Dört temel kuvvetin şiddeti, erim ve kuvvet taşıyıcıları

Kuvvet	Şiddet	Erim	Taşıyıcı
Güçlü Çekirdek Kuvveti	1	$10^{-15}$ m	Gluonlar
Elektromanyetik	$10^{-8}$	$\infty$	Foton
Zayıf Çekirdek Kuvveti	$10^{-5}$	$10^{-19}$	$W^+$ , $W^-$ , $Z^0$
Kütleçekimi	$10^{-38}$	$\infty$	Graviton

Bu etkileşimlerin şiddeti ve erimleri çok farklıdır. En zayıfı kütle çekim (Gravitasyon) etkileşimidir.

Bundan yaklaşık  $10^{37}$  mertebesinde daha şiddetli olanı elektromanyetik etkileşimdir. Bunların ikisinin de erimleri sonsuza varır.

Kütleçekimi bir elmanın yere düşmesini sağladığı gibi yıldızların ve gezegenlerin yörüngelerinde hareketlerini de belirler. Bütün parçacıklar kütle ve enerjinin eşdeğer olması nedeniyle kütleçekiminden etkilenirler [21]. Elektromanyetik etkileşim ise elektriksel ve manyetik olaylardan sorumludur. Benzer yüklerin birbirini itmesi ve aynı yüklerin birbirlerini çekmesine yol açan kuvvet elektromanyetik kuvvettir.

Diğer iki etkileşim kısa erime sahiptirler. Öyle ki bunlar ancak atom çekirdeği içinde etkilidirler. Bunlardan biri güçlü etkileşim diğeri ise zayıf etkileşim olarak adlandırılırlar. Güçlü etkileşim elektromanyetik etkileşimden yaklaşık olarak 100 kat daha şiddetlidir ve atom çekirdeğinin bir arada tutulmasını sağlar. Zayıf olanı ise elektromanyetik etkileşimden yaklaşık olarak 1000 kat daha zayıftır. Atom çekirdeklerinin ve nötronların beta bozunması bu etkileşimin sonucudur.

Sadece bir sayının bir kuvvetin şiddetini nasıl verebileceğini Coulomb etkileşimi örneğinde şöyle gösterebiliriz:

$$K_{el} = \frac{e \cdot e}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

(Doğaldır ki diğer kuvvetler için de benzer şekilde eşitlikler yazılabilir.)

Kuvvetlerin şiddeti eşit uzaklıklar için kuvvetlerin karşılaştırılması ile yapılır. Burada  $e^2/4\pi\epsilon_0$  teriminin enerji çarpı uzunluğu vermesini dikkate almak gerekmektedir. Buna karşılık güçlü çekirdek çekim kuvvetinde  $\hbar c/2\pi$  büyüklüğü gelmektedir. Her iki ön çarpanı birbirine bölersek sade, boyutsuz bir sayı elde ederiz.

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} \cong \frac{1}{137}$$

Bu oranlama kuvvetlerin karşılaştırılması için kullanılmaktadır. Buna göre doğada var olan dört temel kuvvet için şu skala elde edilir:

## Ek-2: Vakum Polarizasyonu

Kuantum elektrodinamik yasalarının keşfinden sonra fizikçiler birçok sorunu çözebileceklerini düşünmeye başlamışlardır. Fakat çok geçmeden bu kuramın dağınık ve tümüyle tutarlı bir kuram olmadığı ortaya çıkmıştır. 1930 yılında durumu ilk fark eden Oppenheimer, elektronun öz enerjisini kendi elektrik alanında hesaplamaya çalışmış ve sonsuz bir değer elde etmiştir. Ancak elektronun enerji özdeğeri sınırlı olmak zorundadır.

Karşılaşılan sorunlardan birisi de elektronun kütlesiyle ilgidir. Bir elektronun kütlesi onu çevreleyen alana bağlı olarak değişir. Yani elektrona yaklaştıkça alan çoğalır ve elektronun yüzeyine ulaşıldığında sonsuz bir kütle değeri elde edilir. Fakat deneyler elektronun sınırlı bir kütleyle sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Bu nedenle kuramcılar, kuantum elektrodinamiğinde karşılaşılan sonsuzlukla ilgili bu sorunun temelinde vakum polarizasyonu, sınırsız kütle ve elektron yükü olduğuna inanmaya başlamışlardır.

Gerard't Hooft bu olayı anlamak için öncelikle etrafında hiç foton olmayan bir “çıplak bir elektron”u göz önüne almamız gerektiğini söyler ve bu durumu şu şekilde açıklar [12]:

*“Çıplak bir elektronun belirli bir “çıplak” elektrik yükü ile “çıplak” bir kütlesi vardır. Bu çıplak elektronun manyetik momentini hesaplamaya çalışırsak maalesef sonsuz bir değer elde ederiz. Bu saçma bir şey. Ancak elektronun yakınına fotonlar yaklaştığında, hesaplamalar bu fotonların yeni elektronlar ve pozitronlar yarattığını gösterir. Bu olay doğrudan fark edilemez. Buna rağmen bu fazla parçacıklar elektron üzerine her türlü etki yapar. Her şeyden önce fazla parçacıklar, elektron yükünü nötrleştiren bir zırh gibi davranır. Bu olaya vakum polarizasyonu denir ve elektronun yükünün değişmesine neden olur.”*

Görüldüğü gibi elektronun yükü ve kütlesi dış etkiler nedeniyle değişmektedir. Günümüzde renormalizasyon hesapları yardımıyla elektronun kütle ve yükü yeniden tanımlanmaya çalışılmaktadır.

### Ek-3: Belirsizlikler

$$1. \alpha(n_1, n_2) = n_2 \cos(\pi/n_1) \tan(\pi/(n_1 n_2)) / \pi = n_2 \cos\left(\frac{\pi}{n_1}\right) \frac{\tan(\pi/(n_1 n_2))}{\pi}$$

$$\lim_{n_2 \rightarrow \infty} \alpha(n_1, n_2) = \lim_{n_2 \rightarrow \infty} \infty \cos\left(\frac{\pi}{n_1}\right) \frac{1}{\pi} \tan\left(\frac{\pi}{n_1 \cdot \infty}\right) = \lim_{n_2 \rightarrow \infty} 0 \cdot \infty = 0 \cdot \infty \text{ belirsizliği karşımıza ıkar}$$

#### Kural:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\tan ax}{bx} = \frac{a}{b} \text{ ve } \lim_{x \rightarrow a} \frac{\tan(x-a)}{(x-a)} = \frac{1}{1} = 1 \text{ dir. } \ddot{\text{O}}yleyse;$$

$$\begin{aligned} \lim_{n_2 \rightarrow \infty} \alpha(n_1, n_2) &= \lim_{n_2 \rightarrow \infty} \infty \cos\left(\frac{\pi}{n_1}\right) \frac{1}{\pi} \tan\left(\frac{\pi}{n_1 \cdot \infty}\right) \\ &= \lim_{n_2 \rightarrow \infty} \frac{\cos(\pi/n_1)(1/\pi) \tan(\pi/n_1 \cdot \infty)}{1/\infty} \\ &= \left(\frac{1}{\pi}\right) \cos\left(\frac{\pi}{n_1}\right) \lim_{n_2 \rightarrow \infty} \frac{\tan\left(\frac{\pi}{n_1} \cdot \frac{1}{\infty}\right)}{\frac{1}{\infty}} \\ &= \frac{1}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{n_1}\right) \lim_{n_2 \rightarrow \infty} \frac{\pi}{n_1} \\ &= \frac{1}{n_1} \cos\left(\frac{\pi}{n_1}\right) \text{ elde edilir.} \end{aligned}$$

2.  $\pi_i(n) = n \tan(\pi/n)$  ve  $\pi_o(n) = n \sin(\pi/n)$  tanımlanır ve  $n \rightarrow \infty$  durumları incelenirse;

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \pi_i(n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \pi_i(\infty) = \lim_{n \rightarrow \infty} \infty \cdot \tan(\pi/\infty) = \lim_{n \rightarrow \infty} \infty \cdot 0 = \infty \cdot 0 \text{ ve}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \pi_o(n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \pi_o(\infty) = \lim_{n \rightarrow \infty} \infty \cdot \sin(\pi/\infty) = \lim_{n \rightarrow \infty} \infty \cdot 0 = \infty \cdot 0 \text{ belirsizlikleri karşımıza ıkar.}$$

#### Kural:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1 \text{ dir. } \ddot{\text{O}}yleyse;$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \pi_i(n) = \lim_{n \rightarrow \infty} n \tan(\pi/n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\tan\left(\pi \frac{1}{n}\right)}{\frac{1}{n}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \pi = \pi$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \pi_o(n) = \lim_{n \rightarrow \infty} n \sin(\pi/n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sin\left(\pi \frac{1}{n}\right)}{\frac{1}{n}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \pi = \pi \text{ elde edilir.}$$

#### Ek-4 : Bohr Hidrojen Atomu

Bohr'un gözlemlenmiş kesikli atomik spektra (tayf) için mantıklı bir açıklama yapma girişimleri sırasında, hidrojen atomundaki elektronun açısal momentumu için genel bir tanım yapılmıştır. Elde edilen değerler yalnızca  $h/2\pi$  nin tam katlarından oluşmaktadır. Klasik fizikten bilinen bir sonuca göre, bir bölgede yerleşmiş dalgaların (örneğin, gerili bir teldeki dalgalar gibi) yalnızca belirli frekanslarda titreşebileceği düşüncesinden yola çıkarak Bohr atom içindeki elektron dalgalarının da belirli frekanslarda olabileceği varsayımını ortaya atmıştır (kuantalama koşulu). Bohr Hidrojen atomu elektronunun açısal momentumunun  $h/2\pi$  'nin tam katları olarak kuantalandığını göstermiştir.

Bohr yörüngesinde dönen elektronun bu yol üzerinde dalgalı bir şekilde gittiği varsayımına göre bu dairesel yörüngeye tam dalga boylarını sığdırabilmek için [14]:

$$2\pi r = n\lambda \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{ve} \quad 2 \cdot \pi \cdot r = \frac{nh}{p} \quad \text{ifadeleri (1) denkleminde yerlerine yazılırsa;}$$

$$rp = \frac{nh}{2\pi} \quad \text{elde edilir ki burada } rp \text{ çarpımı elektronun } L \text{ açısal momentumunu tanımlar.}$$

Öyleyse;

$$L = \frac{nh}{2\pi} = n\hbar \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (2) \text{ Bohr kuantalama koşulu bulunur.}$$

Bu tanımlama gözlenen atomik spektra deneyleri (Davisson ve Germer elektron kırınım deneyleri) ile de uyum göstermektedir. Bohr postülası, kararlı bir yörüngede dolanan elektronun hiçbir dış etki olmadığı sürece enerji ışımadan aynı yörüngede kalacağını söylemektedir. Bu açıklama rezonansların (titreşim) doğası ile siyah cisimden yayılan radyasyon (titreşim enerjisi şeklinde düşünülebilir) arasındaki bağıntıyı iyi bir şekilde açıklar görünmektedir. Fakat Bohr'un varsayımı elektronların niçin enerji ışımadığını açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle de denilebilir ki Bohr teorisi ile elde edilen deneysel sonuçlar arasındaki uyum iyi, fakat mükemmel değildir.

Daha sonra bilindiği üzere Sommerfeld, elektronun hareketine relativistik (görsel) etkileri de ekleyerek Bohr formülasyonunu değiştirmiştir.

## 7. Kaynakça

- [1] Sommerfeld, Annalen der Physik **51**, 1916
- [2] Schreiber B. (2004). Sommerfeld Fine Structure Constant&Derivation Of The Physical Constants
- [3] Bransden B.H.&Joachain C.J. (1999). Atom ve Molekül Fiziği. Ankara: Bilim Yayıncılık.
- [4] J.K:Webb et al. Phys. Rev. Lett. **87** (2001), Art. No. 091301
- [5] <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2004/pr-05-04.html>
- [6] Jacobsen T, Eur. J. Phys. **17** (1996), p.92
- [7] Subramanian R, Goh N K, and Chia L S; Eur. J. Phys. **19** (1998), p.201
- [8] Tomilin K A, Eur. J. Phys. **20** (1999), p. L39
- [9] Arık N. (2004). Doğa Yasaları Zamanla Değişiyor mu.Bilim Teknik Dergisi, syf. 66-69.
- [10] Toichiro Kinoshita, Rep. Prog. Phys. **59** (1996) 1459-1492.
- [11] Wales M., Quantum Ideas Quantum Theory: Alternative Perspectives, Shields Boks, 2000
- [12] Hooft G. Maddenin Son Yapıtaşları. Ankara: Tübitak Popüler Bilim Kitapları
- [13] Gilson J. G. (1990). Oscillation Of A Polarizable Vacuum. p. 95,108
- [14] Taylor J.&Zafaritos C.(1996). Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik. İstanbul: Arte Güven Yayınları
- [15] Gilson J. G., Calculating the Fine Structure Constant (1995). p.3
- [16] <http://www.fizik.us/istatistik-fizik/dejenere-kuantum-durumu.html>
- [17] Max Born, Atomic Physics (Blackie and Son Ltd, 1953), p. 164
- [18] <http://www.maths.qmul.ac.uk/~jgg/>
- [19] Gilson J. G., A Quantum Coupling Conjecture (2000). p.1
- [20] Helge Kragh, The Fine Structure Constant Before Quantum Mechanics (2003). p. 171-173
- [21] [http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/madde/etkilesim\\_2.html](http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/madde/etkilesim_2.html)