

KİM 320

NÜKLEER KİMYA

Doç. Dr. Harun Reşit YAZAR

DERSİN HEDEFİ: Çekirdek büyüklükleri ve şekilleri ile ilgili alt yapı oluşturmak, çekirdek modelleri hakkında bilgi vermek.

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1: TEMEL KAVRAMLAR VE TARİHÇE

1.1. GENEL AÇIKLAMALAR

1.1.1. NÜKLEER FİZİĞİN GELİŞİMİNDEKİ ÖNEMLİ İLERLEMELERİN KRONOLOJİSİ

BÖLÜM 2: ÇEKİRDEK FİZİĞİNDE TEMEL KONULAR

2.1. ATOM ÇEKİRDEĞİ

2.1.1. ATOMİK MERKEZ: ÇEKİRDEK

2.1.1.1 ÇEKİRDEĞİN OLUŞUMU

2.1.1.2 ÇEKİRDEKLERİN SIRALANIŞI

2.1.2. ÇEKİRDEK TEMEL DÜZEY ÖZELLİKLERİ ve ÇEKİRDEK ŞEKİLLERİ ve YOĞUNLUKLARI

2.1.2.1. ÇEKİRDEK KÜTLELERİ $1+1\neq 2$

2.1.2.2. KÜTLE TABLOSU VE BAĞLANMA ENERJİSİ

2.1.3. NÜKLEER STABİLİTE

2.1.4. NÜKLEER BÜYÜKLÜK

2.1.5. BAZI TARİFLER

2.2. AÇISAL MOMENTUM

2.2.1. PARİTE

2.2.2. İSTATİSTİK

2.2.3. NÜKLEER MOMENTLER

2.2.3.1. NÜKLEER MANYETİK MOMENT DEĞERLERİ

2.2.3.2. NÜKLEER ELEKTRİK KUADRUPOL MOMENTLERİ

BÖLÜM 3: ÇEKİRDEK KUVVETLERİ VE ÇEKİRDEK MODELLERİ

3.1 ÇEKİRDEK KUVVETLERİ

3.1.1. GENEL KARAKTERİSTİK

3.2. ÇEKİRDEK KUVVETLERİNİN MEZON TEORİSİ

3.3. ÇEKİRDEK MODELLERİ

3.4. NÜKLEER ÖZELLİKLERDEKİ DÜZENLİLİĞİN DENEYSEL KANITLARI

3.4.1. TEK-PARÇACIK KABUK MODELİ

3.4.1.1 KARE KUYU POTANSİYELİ

3.4.2. SPİN-YÖRÜNGE KUPLAJI

3.5. KOLLEKTİF MODEL

3.5.1. DEFORME ÇEKİRDEKLERDE ROTASYONEL HAREKET

3.6. KÜRESEL VE DEFORME ÇEKİRDEKLERDE VİBRASYONEL HAREKET

1. HAFTA

BÖLÜM 1: TEMEL KAVRAMLAR VE TARİHÇE

1.1. GENEL AÇIKLAMALAR

Nükleer fizik Becquerel 'in 1896'da doğal radyasyonu keşfi ile başlamıştır. Bu buluş Röntgen'in bir önceki yılda X-ışınlarını ve bir sonraki yılda Thomson'un elektronu buluşu ile gölgelenmiştir. Uranyum'dan saçılan doğal ışınlar çekirdekle ilgili en önemli bilgileri içeren bir radyasyon olmakla birlikte uzun yıllar açıklanmayı bekliyen konuları içermekte idi. Burada yapılan çalışmalar deneysel ve teorik işlemleri içermektedir. Teorik yapı, Planck 'ın kuantum teorisi ile 1900 lerde Bohr, Schrödinger, Heisenberg, Dirac, Born ve Jordan'ın oluşturdukları kuantum mekaniği ile olgunlaştı. Bu ise maddesel parçacıkların de Broglie dalga boyu ve Bohr'un tamamlayıcı prensibi, bazen "dalga-parçacık ikilemi prensibi" olarak adlandırılan anlayışla ilgilendirilmiştir.

Atomik yapı ile ilgili çeşitli iddialar Rutherford'un çekirdek hipotezinin 1911'de detaylı bir şekilde desteklenmesi ile ortadan kalkmıştır. α - parçacıklarının ince metal plakalardan saçılımı esnasında bunların büyük açılarda sapması, tüm pozitif yükü ve kütlelerin büyük bir kısmını içeren çekirdeğin varlığını önermeyi desteklemiştir. Rutherford tarafından ilk defa deneysel sonuçların teorik saçılma yasasına yapılan tam uygulama gerçekten Coulomb kuvvetinin 10^{-12} cm civarına kadar uygulanabildiğini göstermiştir ki bu bilinen atomik boyutlardan çok küçüktür. Dolayısı ile atomik hacimde olağan üstü kuvvetlerin genellikle bulunmadığı kabul edilip, elektronların çekirdek çevresinde kararlı yörüngelerde bulunması ile kararlı atomların açıklanması sağlanmıştır. Bu basit model ve Planck tarafından ortaya konulan kuantum yasaları, Bohr tarafından 1913 de kullanılarak hidrojen atomundaki Balmer serisinde frekanslar arasındaki sayısal ilişki ortaya kanulmuştur. Bundan sonraki birkaç yılda Rutherford-Bohr atomu merkezi çekirdek kütle numarası A ve $+Ze$ yükü, optik spektroskopide gözlem pek çok olayı açıklamada kullanılmıştır. X-ışınlar spektroskopisi üzerinde Moseley'in yaptığı çalışmalar yük sayısı Z ilgili atomun atom numarası olarak adlandırılmış kimyasal özelliklerin atom ağırlığından çok bu sayı ile ilgili olduğu belirlenmiş; daha sonra bu atomların içerisinde çeşitli izotopların olabileceği ortaya konulmuştur. Radyoaktivitede, uranyum, toryum ve aktinyumun ardışık transformasyonu merkezi bir çekirdeğe bağlanmış, bu elementler ve bunların bozunumlarında oluşan periyodik sistemde, Russel ve Saddy'nin yer değiştirme yasası ile belirli olarak yerleştirilmişlerdir. Bu çalışmadan ortaya çıkan izotopik oluşum Thomson'un bulunduğu pozitif ışınlar parabolü ile desteklenmiş ve Astan tarafından pek çok elementin kütle spektrometresi elde edilmiştir.

Bütün bu çalışmalara rağmen klasik elektrodinamiğe göre kapalı bir yörüngede hareketi kuvvet merkezine doğru ivmeleyecek ve elektromanyetik teoriye göre ışın yapacaktır. Böylece yörünge belirsiz bir şekilde büzülecektir. Bu durum Bohr 'un birinci postülatı ile iptal edilmiş ve bir atomdaki elektronun hareketinin kararlı olduğu yani

ışmaz olduğu belirtilmiştir. İkinci postulat açısal momentum kuantizasyonu olup sonsuz olasılıkta gerçek yörüngenin belirlenmesini; üçüncü postulat ise E_i ve E_f enerjilerindeki iki kararlı durum arasındaki geçiş'in :

$$h\nu = E_i - E_f$$

ilişkisi ile verildiğini göstermiştir. Buradaki Plank sabiti h teoreminin kontitatif temelini oluşturmuştur. Her ne kadar Bohr, büyük kuantum sayılarında klasik ve klasik olmayan konuların örtüşeceğini öne sürmüştü de bu teoremin gelişmesi ile genel kabul görmemiştir. Fotonlarla ilgili gelişmede bunların enerjilerinin kuantumlanmış olması öngörülse de ışık her yönde dalga yayılımı göstermektedir. Atomik olaya yeni bir yaklaşım 1924'de de Broglie'nin , elektronların dalga şeklinde hareket edebileceklerini ortaya sürmesi ile başlamıştır. Deneysel olarak bu durum maddesel dalgaların dalga boyunun :

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

olduğunu belirlemiştir. Bu fikirlerin teorik tekniklerle analizi dalga mekaniği adı altında Schrödinger tarafından 1926 'da geliştirilmiştir. Bu sırada Heisenberg maddenin dalgaya benzeyen özelliklerini daha temel bir yaklaşımla ortaya koymuş ve geleneksel düşünce metodunun atomik durumlarda gözden geçirilmesine sebep olmuştur. Heisenberg deneysel metodlarla ortaya konulmamış gözlenebilir şeylerle ilgili resimlerin ve maddelerin teoride kullanılmamasını önermiştir. Böylece belli yarıçapı gösteren yörüngeler gibi fikirler , atomdaki elektronlar ve çekirdekdeki protonlar için teoriden çıkarılmış ; bunun yerine gözlenebilen enerji ve momentum gibi kavramlar teoride yer almıştır. Yörüngesel frekansların artık anlamı kalmamış ve bunlar deneysel olarak gözlenebilen ışımaya geçiş olasılıkları ile değiştirilmişlerdir. Kısa sürede gözlenebilenleri açıklamaya uygun tekniklerin matris cebiri olduğu anlaşılmış ve bu teknik modern kuantum mekaniğinde uygulanmaya başlamış ; Schrödinger in dalga mekaniğinin de buna eş değer olduğu gösterilmiştir. Her iki sistem için elektron dağılımlarının istatistik olarak incelenmesi gerekmekte ve böylece elektronun uzayda belirli bir noktada olduğunu söylemek yerine , burada bulunabilme olasılığı bilinmektedir. Her iki sistem Heisenberg'in meşhur belirsizlik ilkesine yönelmekte ve

$$\Delta P_x \cdot \Delta x > \hbar$$

$$\Delta E \cdot \Delta t > \hbar$$

Bunlara göre ölçünün isabeti, bağımlı mekanik kavramların Planck sabiti ile limitli oluşudur.

Nükleer fiziğin çağın ışığa göre çok yavaş hareket eden parçacıklar içerir. Bu tür problemler , çarpışmalar da gözlenebilir ve göreceli olmayan metodlar uygulanabilir. Einstein'in özel göreceli kütle enerji ilişkisi

$$E = mc^2$$

De Broglie'nin maddesel dalgalar önerisinde ışın içine girmiş ancak bu Dirac'ın rölativistik kuantum mekaniğini kurarak bir anti-elektron , yani pozitronun varlığını ortaya koymasını beklemiştir. Bu parçacık kozmik ışımada 1932 'de keşfedilmiştir. Pauli elektronların olası hareket durumlarındaki istatistik dağılımlarını inceleyerek yeni bir serbestlik derecesinin olması gerektiğini ortaya koymuştur. Goudsmith ve Uhlenbeck bunun elektron spini olduğunu belirleyince , bu Dirac teorisine tatminkar olarak yerleştirilmiştir. Pauli ayırım prensibi, yarım tam sayı spine sahip parçacıklardan sadece iki tanesi, ters spinde olmak kaydıyla aynı hareket durumunda olabilirler. Bu prensip , Heisenberg prensibi ile birlikte doğanın temel yasalarından biri halindedir. Elementlerin periyodik sistemi bu prensibin bir açıklaması olarak görülmektedir. Bu iki prensiple birlikte nükleer fizik prensiplerinin bir anlamı için teorik yapının ortaya konması sağlanabilmiştir.

1919'da Rutherford basit bir aparat içerisinde α -parçacıkları ile bombardımana tabi tutarak azot çekirdeğinin bozulmasını elde etti. Bundan sonraki on yıl sadece az bir

ilerlemeye sahne olabildi. 1930' lara kadar tabii α -parçacıkları bu kanunun temel atış elemanları olarak kullanılmıştır. Bunlar 1932 de Chadwick tarafından kullanılan deneylerde nötronun bulunmasını , Curie ve Joliet tarafından kullanımı ilk yapay radyoaktiviteyi ve Hahn ve Strassmann tarafından (nötron eldesi için) kullanımı ile ilk fizyon (1938-39) olayının ortaya konmasını sağlamıştır. Bu sırada , nükleer hızlandırıcıların gelişmesi Lityum'un protonlarla yapay bozunumu Cockcraft ve Walten (1932) tarafından açıklanmıştır. Gelişim hızlanmış ve bu günkü nükleer bilgilerin detayları hızlandırıcı deneylerinden elde edilmiştir. Bu deneylerle iyi denenmiş teorik metodların kullanımı bazı erken nötron-proton nükleer modelinin oluşmasını sağlamıştır. Bu modelin kabulü β -bozunumu teorisine ciddi bir öngörü ortaya koymamıştır, çünkü pek çok sebep çekirdeklerde elektron bulunamayacağını göstermiştir. Pauli tarafından nötrinin önerilmesi , Fermi (1934)'nin bu bozunum için temel çerçeveyi çizerek teorisinin oluşmasına katkıda bulunmasını sağlamıştır. Nötrinin varlığı için pozitif kanıt yeni bulunmuş olmasına rağmen temel parçacıkların en önemlilerinden biri olduğunu ispatlamıştır.

Fizyon'un keşfi çekirdeğin anlaşılmasında daha etkin olmuştur. Teori için önemli buluşlar , 1932 'de Anderson un pozitronu keşfi , Neddenmeyer ve Anderson un μ -mezonu keşfi(1936) ve powell'in π -mezonu keşfidir(1947). π -mezonun keşfi özellikle değiş tokuş parçacığı olarak ilk defa Yukawa tarafından önerilen nükleer kuvvetler teorisinde önem kazanmıştır. Bu ve buna benzer parçacıkların tamamı kozmik ışımlar içerisinde keşfedilmiş olmakla beraber , bunların kopyaları hızlandırıcılarda gözlenmiş, ancak kozmik ışımları 100 GeV ve yukarısı parçacıkların incelenmesinde halen önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bu araştırmaların önemli bir sonucu nükleonlar arasındaki kuvvetlerin anlaşılmasıdır. Bu kuvvet şu anda sadece yarı deneysel olarak bilinmekte, fakat nükleer yapının ve bunun genel özelliklerinin anlaşılması , stabil çekirdeklerin böylece kullanılması, yüksek enerji nükleon-nükleon veya mezon-nükleon deneylerinden elde edilen sonuçların gerçekliliğinin kanıtlanmasında önemli rol oynayacaktır. Dolayısı ile düşük enerji Nükleer fizik , yüksek enerji fiziği ve kozmik ışımlar fiziği arasında keskin çizgiler çizilmesi bu bakımdan doğru olmaz. Bilgi içeriğinde bulunan örtüşün , ortak olarak birbirlerini besler, gelecekte maddenin yapısının anlaşılmasında daha da yatkın durumları gerekebilir. Gelecekte , geçmişte olduğu gibi , teoride ve deneyde basitleştirici pek çok gelişme sağlanacak ve görünüşte karmaşık pek çok nükleer problem çözüme kavuşturulacaktır. K-mezonlar ve hayperonlar'ın bulunması 1947 ve 1945 te olmuştur.

1.1.1. NÜKLEER FİZİĞİN GELİŞİMİNDEKİ ÖNEMLİ İLERLEMELERİN KRONOLOJİSİ

Elementlerin periyodik sistemi	1868	Mendele ev
X-ışınlarının keşfi	1895	Röntgen
Radyoaktivitenin keşfi	1896	Becquere
Elektronun keşfi	1897	J.J.Thomson
Kuantum Hipotezi	1900	Planck
Kütle-enerji ilişkisi	1905	Einstein
Izotop önerisi	1911	Saddy
Nükleer Hipotez	1911	Rutherford

Nükleer Atom Model	1913	Bohr
X-ışını spektrumundan atom no.	1913	Moseley
Neon izotopundan pozitif ışımlar	1913	J.J.Thomson
Azot'un α -parçacıkları ile değişimi	1919	Rutherford
Kütle spektrometresi	1919	Aston
Maddesel dalgalar	1924	de Broglie
Ayırım prensibi	1925	Pauli
Dalga denklemi	1926	Schrödinger
Elektron difraksiyonu	1927	David-Germer
Belirsizlik prensibi	1927	Heisenberg
Bariyer penetrasyonu	1928	Gamov, Condan
Cyclotron (Hızlandırıcı)	1930	Lawrence
Elektrostatik jenaratör	1931	Van de Graff
Deteryum un keşfi	1932	Urey
Nötron un keşfi	1932	Chadwick
Hızlandırılmış protonlarla lityum un değişimi	1932	Cockcraft-Walton
Pozitronun keşfi	1932	Anderson
Nötrino hipotezi	1933	Pauli
Ağır kuantlar(mezon) hipotezi	1935	Yukava
μ -mezonun keşfi	1936	Anderson-Neddermeyer
Manyetik rezonans prensibi	1938	Rabi
Fizyon un keşfi	1939	Hahn- Strassmann
Stabil fazlı hızlandırıcı	1945	Mc Millan
π -mezonun keşfi	1946	Powell
Anti-protonun keşfi	1956	Segre
Paritenin korunması	1956	Lee-Yang
(anti) nötrinonun gözlenmesi	1956	Reires-Cowan