**2. TEMEL KUANTUM MEKANİK:**

Çekirdekte nükleonlar klasik parçacıklar gibi davranmazlar. Bilardo toplarının çarpışması gibi değildir. Çekirdekteki nükleonların özelliklerini nükleonun dalga davranışı belirler (Dalga parçacık ikilemi). Dolayısıyla nükleonların davranışını analiz ederken kuantum mekaniğinin matematiksel tekniklerini kullanırız.

Nükleonların kinetik enerjileri, 10 MeV, durgun kütle enerjilerine göre çok küçük olduğu için Non-relativistik kuantum mekaniğini rahatlıkla kullanabiliriz.

çekirdek çapı mertebesinde.

***2.1. Kuantum Davranışı***

Kuantum mekaniği, parçacıkların dalga özelliğini hesaplamamıza yarayan matematiksel bir formülasyondur. 1900’den önce ışık bir dalga olarak tanımlandı. 1900’de Planck’ın siyah cisim ışıması ve

1905’te Einstein’in fotoelektrik etki çalışmaları

Işığın enerjisini bir dalga gibi sürekli ve düzgün bir şekilde değil de, ani olarak bir parçacık gibi aktardığının düşünülmesi gerektiğini gösterdiler. 1924 yılında de Broglie, Einstein ve Compton’ın çalışmalarından faydalanarak madde ve ışığın benzerliğini gösterdi. Işık, bir dalga olayı, parçacık özelliği gösteriyorsa acaba bir parçacık da dalga gibi davranıyor mu? sorusunu sordu. Benzerlikten hareket ederek ,

bağıntısını buldu.

1927 yılında Thomson, Davisson ve Germer deneyler yoluyla elektronların da dalgalar gibi kırınıma uğradığını göstererek de Broglie’nin hipotezini doğruladılar. Parçacık üzerine kuvvet etki ettiği zaman momentum değişecek ve dolayısıyla karşı gelen dalga boyu da değişecekti. De Broglie’nin bağıntısı yalnız başına dalganın dinamiğini hesaplamamıza izin vermiyordu.

1928 yılında Schrödinger dalga dinamiğini veren bağıntıyı buldu.

De Broglie teorisinin diğer bir eksikliği klasik kavram ve terminolojiye dayanması; parçacık ve dalga birbiriyle uyuşmayan iki kavram. De Broglie bağıntısı belirgin bir momentum ile tanımlanmış klasik bir parçacığı ve belirgin bir dalgaboyu ile tanımlanmış bir dalgayı içermektedir.

Klasik parçacığın uzayda tanımlanmış bir pozisyonu vardır. Şimdi de Broglie bağlantısına göre uzayın bir bölgesine sınırlanmış parçacık, bütün uzaya yayılmış bir dalga ile temsil edilecektir. Bu bir çelişkidir. Bu problemin çözümü kuantum fiziğinin alanına girdiğimiz zaman klasik parça tanımını terketmekle sağlanır. Yaptığımız bütün deneylerde klasik parçacığın büyüklüğü aynıdır. Kuantum parçacığının büyüklüğü ise yaptığımız deneye bağlı olarak değişir. Kuantum mekaniğinde gözlem; gözlenen obje ile gözlemi yapan sistem arasındaki bu çiftlenim neticesinde tanımlanır. Obje hakkında bilgi gözlemi yapan sistemden bağımsız değildir. Eğer bir parçacık bir bölgeye sınırlandı ise , o bölge içinde dalga genliği sıfırdan farklı, dışında ise sıfır olmalıdır. Bu ise farklı dalga boylarının bölgenin dışında sıfır genlik verecek şekilde üst üste binmesi ile oluşur.

Her dalga boyu ’ya karşılık gelen momentum olduğu için farklı dalgaboyuna sahip dalgaların üst üste gelmesi neticesinde parçacığın momentumunda kadar bir belirsizlik oluşur. Yani parçacığın bölgesine sınırlanması onun momentumu hakkındaki bilgimize bir belirsizlik sokar. Parçacığın konumunu ve momentumunu aynı anda ölçmeye kalkarsak her birinin ve kadar belirsiz olduğunu görürüz. Bu belirsizlikler Heisenberg belirsizlik bağıntısı ile birbirine bağlıdır.

Eğer parçacığın momentumu hakkındaki bilgiden vazgeçersek istenen kadar küçük belirsizliği ile parçacığın konumunu belirlememiz mümkündür. Daha sonra momentumunu istenen kadar küçük belirsizliği ile belirlemeye kalkarsak konumu hakkındaki bilgiyi kaybederiz. Yani parçacığın konumunu belirsizleştiririz. Parçacığı bir “dalga paketi” tanımlarız. Dalga paketi momentumunun çevresine aralığına dağılmış momentum ile noktası çevresine aralığına sınırlanmış bir parçacığı temsil eder. Bu dalga paketi parçacık hakkındaki bütün bilgiyi taşır. Parçacık bir dalga paketi değildir. Belirsizlik ilkesinin geçerli olduğu diğer bir ifade ise parçacığın enerjisi ve onu ölçmek için gerekli zaman aralığı arasındadır.

Sistemin enerjisi de Broglie dalgasının frekansına bağlı. ’yi belirlemek için uygun bir zaman aralığında süresi boyunca dalgayı gözleyip frekansı belirlemeliyiz.

Eğer bir sistem sadece süresi kadar yaşarsa onun enerjisini ancak belirsizliği ile belirleyebiliriz. Kararlı sistemlerde, bozunmayan sistemlerde sistemin enerjisi istenildiği kadar küçük bir belirsizlikle belirlenebilir. Bozunan sistemlerde ise enerjideki belirsizlik genellikle “width (genişlik)” olarak tanımlanır. Diğer bir belirsizlik bağıntısı ise açısal momentum ile ilgilidir. Klasik olarak açısal momentum vektörünün, , her üç bileşenini , , ayrı ayrı belirleyebilir ve sistemin dönmesini tanımlayabiliriz.

Kuantum mekaniğinde bir birleşen hakkındaki diğer bileşenler pahasına elde edilir.

 – bileşenini belirsizliği ile ölçersek kadar xy-düzleminde bir belirsizlik oluştururuz.

***2.2 Kuantum Mekaniğinin Prensipleri:***

Relativistik olmayan kuantum mekaniğinin matematiksel formülasyonu Schrödinger denklemi ile belirlenir. Tek boyutta zamandan bağımsız S.D.,

 Kütlesi m ve potansiyel enerjisi olan bir parçacık için,

: Schrödinger dalga fonksiyonudur. Bu dalga fonksiyonu dalga paketinin matematiksel tanımıdır. Arzu edilen sınır şartlarını sağlayan dalga fonksiyonu için bu 2. dereceden diferansiyel denklemin, parçacığın enerjisini tanımlayan E’nin belli değerleri için çözümü vardır. E’nin bu değerlerine parçacığın öz-enerji değerleri ve bu öz-enerji değerlerine karşı gelen çözümlere (dalga fonksiyonlarına) öz-durumları denir. Zamana tam çözüm ise,

Dalga fonksiyonunun sağlaması gereken en önemli şart; fonksiyonun kendisinin ve türevinin, her yerde özellikle sınır noktalarında sürekli olmasıdır.

’da

yani noktasına sağdan ve soldan yaklaştığımızda fonksiyon için aynı değeri bulmalısınız. Ve,

Eğerpotansiyelinde noktasında sonsuz süreksizlik varsa (yani potansiyel noktasında bir delta fonksiyonu ihtiva ediyorsa gibi) türev ile ilgili olan koşul ihlal edilebilir.

(Not: dalga fonksiyonunun türevinin sürekliliği ile ilgili bağıntı S.D. birinci integrali neticesinde elde edildiğine dikkat edin.)

Dalga fonksiyonu üzerinde diğer bir şart ise, dalga fonksiyonunun olasılık yoğunluğu olarak yorumlanabilmesi için dalga fonksiyonunun değeri tanımlandığı aralığın her noktasında sonlu olmalıdır. Diferansiyel denklemin sonlu olmayan çözümleri dikkate alınmaz.

Bir sistemin dalga fonksiyonu hakkındaki bilgimiz sistemin bir çok özelliğini hesaplayabilmemizi sağlar. Örneğin, parçacığı (dalga paketini) ile aralığında bulunma olasılığı,

ile verilir. ifadesine olasılık yoğunluğu adı verilir. (fonksiyonun kompleks konjugesidir) Parçacığı ile noktaları arasında bulma olasılığı ise,

ile verilir. Parçacığı her yerde bulma olasılığı ise 1 olmalıdır.

Buna normalizasyon şartı denir. Diferansiyel denklem dalga fonksiyonunun katsayısını belirlemez. Yani bir çözüm ise, fonksiyonunu herhangi bir C-sabiti ile çarpımı sonucu elde edilen fonksiyon da, de, ayni öz-enerji değerine tekabül eden bir çözümdür. Bu C-sabitinin değeri normalizasyon şartı ile belirlenir.

’in herhangi bir fonksiyonu, , bu kuantum mekaniksel sistem için hesaplanabilir. fonksiyonu için sistemde ölçtüğümüz değerler olasılık yoğunluğu tarafından belirlenir. fonksiyonunun ortalama değeri her-değeri için ortalamaya eklenen katkıların bulunmasıyla belirlenir.

Bu şekilde hesaplanan ortalama değerlere kuantum mekaniksel beklenen değerler denir. Beklenen değerlerin yorumlanmasında dikkatli olmalıyız. Kuantum mekaniği istatistiksel verilerle ilgilenir. Bir çok hesabın sonucu istatistiki ortalamadır.

, beklenen değerin manası şudur. Çok sayıda birbirine benzer sistemler hazırlarsanız ve her bir sistem için değerini ölçerseniz bu ölçüm sonucu elde edeceğiniz değerlerin ortalaması ’dir. Kuantum mekanininin tatmin edici olmayan özelliği bir deneyin sonucunu kesinlikle tahminde bulunamamasıdır. Tek yapabileceğimiz, çok sayıdaki ölçümlerin istatistiki ortalamasını tahmin etmektir.

’in fonksiyonu olarak ifade edilemeyen fiziksel büyüklüklerin ortalama değerlerini hesaplamaya gelince;

Örneğin, (, ’in fonksiyonu değil.)

Her bir klasik fiziksel büyüklüğe (veya değişkene) kuantum mekaniksel bir operatör karşılık gelir. Operatör, matematiksel bir operasyonu (işlemi) yapabilmemiz için bizi yönlendiren bir semboldür. Örneğin; exp, sin, de olduğu gibi.

Açıkça, parantezler vasıtasıyla aksini belirtmedikçe operatörler sağ tarafında bulunan değişken veya fonksiyon üzerinde işlem yaparlar.

Örn. operatör olsun.

 operatörü fonksiyonu üzerinde işlem yapmaktadır.

Kuantum mekaniğinde karşılaşılan en önemli iki operatör, momentum operatörü ve enerji operatörüdür.

 ifadesindeki , ifadesindeki , terimiyle çarpımında beklenen değer hesaplarında birbirlerini yok ederler. Sistemin ölçülebilir özelliklerinin hiçbiri zamana bağlı değildir. Bu tür koşullar “kararlı durum” şartı olarak bilinir. Kararlı bir durumda bulunan bir sistem bütün zamanlarda aynı durumda kalır ve dinamik değişkenlerin tamamı hareketin sabitleridir. Bu bir idealleştirmedir. Şüphesiz hiçbir sistem sonsuza kadar aynı durumda bulunmaz. Fakat bir çok sistemlerin yaklaşık olarak kararlı olduğu varsayılabilir. Bir sistem, örneğin atom, “kararlı” uyarılmış bir durumdan diğer bir kararlı duruma geçiş yapabilir.

Dalga fonksiyonuna bağlı olarak “parçacık akım yoğunluğu” ile tanımlanabilir.

Elektrik akım yoğunluğunun bir benzeridir. noktasından saniyede geçen parçacıkların sayısını verir. Yukarıda açıklanan kavramlar üç boyuta genellenebilir.

olasılık yoğunluğu birim hacim başına düşen olasılığı verir. kartezyen koordinatlarda.

 : noktasını merkez kabul eden sonsuz küçük hacminde parçacığın bulunma olasılığıdır.

Küresel koordinatlarda,

***2.3. Bir Boyutta Problemler:***

*Serbest Parçacık:*

İlk terim yönünde ilerleyen bir dalgayı

İkinci terim yönünde ilerleyen bir dalgayı gösterir.

Bu ilerleyen dalgaların yoğunluğu karşılıklı olarak , ile verilir. Herhangi bir sınır koşulu olmadığı için bütün değerleri denklemin çözümleridir. Daha önce tanımladığımız normalizasyon şartı da dalga fonksiyonu yakınsamadığı için kullanılmaz. Dolayısıyla farklı bir normalizasyon kullanılır.

Farz edelim ki ‘da bir fırlatıcı saniyede tane parçacığı momentumu ile yönüne yayıyor olsun. Parçacıklar yönünde yayıldığı için, yönüne giden parçacık olmadığı için, yönüne gidecek parçacıkları temsil eden dalga fonksiyonunun şiddeti sıfır olmalıdır, . Dolayısıyla yönünde giden parçacıkları temsil eden dalga fonksiyonu,

şeklindedir. Bu dalgaya karşı gelen parçacık akımı ise,

ile ifade edilir. Bu ise kaynak tarafından saniyede yayımlanan parçacık akımına ’ya eşit olmalıdır.

 olarak alınabilir.

noktasında bulma olasılığı,

Basamak potansiyel



 1. bölge

 2. Bölge

 için,

 için,

 noktasında dalga fonksiyonunun kendisinin ve türevinin süreklilik şartı,

Parçacıkların ‘daki bir kaynaktan yönünde gönderildiğini farz edelim. ’deki -lı terim potansiyele doğru gelen dalgayı, -li terim potansiyelden yönünde yansıyan dalgayı;

’ deki -li terim yönünde potansiyel üzerinden geçen dalgayı; -li terim de bu problemin hiçbir parçasını temsil etmiyor. (Eğer problemde ’ dan yönünde parçacık gönderen bir kaynak olsaydı, o kaynağın göndereceği parçacıkları temsil edecekti.) olmalıdır.

 ve katsayılarını gelen dalganın şiddeti, , cinsinden buluruz. , yansıma katsayısı,

T, geçme katsayısı,

 olduğuna dikkat edin. Bu problem tek boyutta basit bir saçılma problemidir. Daha sonra bu kavramların üç boyutta nükleon-nükleon saçılma problemini nasıl uygulandığını işleyeceğiz.

*Basamak potansiyeli*