



MIT Açık Ders malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.01 Fizik I: Klasik Mekanik, Güz 1999

Bu materyallerden alıntı yapmak veya kullanım şartları hakkında bilgi almak için

<http://ocw.mit.edu/terms> ve <http://www.acikders.org.tr> sitesini ziyaret ediniz.

MIT Açık Ders malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.01 Fizik I: Klasik Mekanik, Güz 1999

Transkript – Ders 34

19. yüzyıl ve öncesindeki tüm fizik, klasik fizik olarak adlandırılır.

Örnek olarak, tüm bu dönem boyunca ele aldığımız Newton mekaniği ve gelecek dönem göreceğiniz elektrik ve manyetizma verilebilir.

Atomların yapısı hakkında bilgi sahibi olmaya başladığımız bu yüzyılın başlarında; klasik fiziğin, çok küçük atom boyutlarında işe yaramadığı açıkça görüldü.

Bir atomun boyutu, sadece 10 üzeri eksi 10 metredir.

Eğer onlardan 250 milyon tane alır ve onları sıralarsanız, Bu sadece 1 inch olur.

1911 de, İngiliz fizikçi Rutherford, bir atomun neredeyse tüm kütlesinin atomun merkezinde, çok küçük bir hacimde bulunduğunu gösterdi.

Biz onu çekirdek olarak adlandırıyoruz ve çekirdek pozitif yüklüdür.

Ve çekirdeğin etrafındaki yörüngelerde negatif yüke sahip olan elektronlar vardır ve elektronların çekirdekten olan tipik uzaklıkları, çekirdeğin kendi büyüklüğünden yaklaşık 100 bin kat daha fazladır.

Henüz 1920 yılında, Rutherford protondan bahsetti ve Chadwick 1932'de nötronu keşfetti, ve bundan dolayı Nobel ödülünü aldı.

Şimdi, bu ders salonumuzun bir atom olduğunu varsayalım.

Ve bir atomun büyüklüğü, elektronların bulunduğu en dış yörünge tarafından belirlenir.

Eğer onu doğru bir şekilde ölçeklendirecek olursam, 100 bine 1 oranına göre çekirdeğin büyüklüğü bir kumun tanesinden bile daha küçük olacaktır.

Ve daha dün Plum adasına gittim, sahilde 3 saat yürüdüm ve yürüyüşümü, cebimde kum taneleri ile tamamladım.

Ve size bir protonu hediye edeceğim, onu tuttuğunuzdan emin olun.

Ooo, bu 2 proton. Çok cömert davrandım. Orada kalsın.

Bu bir proton.

Ve bu durumda, duvarların yakınında her yerde yörüngede deliler gibi dolanan bir elektron olmalı. Öyleyse, bu hidrojen atomu olur.

Atomun ne olduğu hakkında sadece düşünün. Bir atom boşluktur.

Sizler ve ben boşluğuz. Kendinizi bir şey sanabilirsiniz. Fakat hiç bir şey değiliz.

Kendinize şu soruyu sorabilirsiniz, eğer boşluk isek, bu durumda neden bir elimi diğer elimin içinden geçiremem? Hayaletin duvarlardan geçtiği gibi. Aslında bunu cevaplamak kolay değil ve bunu klasik fizik ile açıklayamazsınız. Ve bugün bu konuya girmeyeceğim.

Fakat hepiniz boşluksunuz.

Maxwell'in elektrik ve manyetizma kanunu denklemlerine göre, bir elektron, protonun çekici kuvvetinden dolayı, saniyenin küçük bir kesrinde dönerek protona düşecektir. Ve böylece atomlar var olamaz.

Şimdi, bunun doğru olmadığını biliyoruz. Atomların var olduğunu biliyoruz.

Ve bu fizik için bir problem oluşturdu. Ve 1913 de Danimarkalı fizikçi Niels Bohr, çekirdek etrafında dolanan elektronların, birbirlerinden belirgin biçimde ayrılmış, iyi tanımlanmış yörüngelerde dolandıklarını ve elektronların dönerek çekirdeğin üzerine düşmeyeceğini ileri sürdü. Bundan dolayı, elektronlar müsaade edilen yörüngelerin dışında bulunamaz.

Elektron bir yörüngeden başka bir yörüngeye geçebilir, ama arasında olamaz.

Bohr'un önerisi dünyayı sarstı. Çünkü bu, aynı zamanda, güneşin etrafında dolanan bir gezegenin, güneşin etrafında herhangi bir mesafede dolanamayacağını ifade ediyordu. Onu azıcık ileri ya da geri hareket ettiremezsiniz. Bu, ayırık yörüngeleri gerektirir.

Bu aynı zamanda, eğer bir tenis topunuz var ve tenis topunu aşağı ve yukarı zıplatırsanız, tenis topunun zeminden herhangi bir seviyeye yükselemeyeceğini de ifade etmektedir. Sadece ayırık seviyelerde olabilecektir ve bu bizim sezgilerimize aykırıdır. Bizler bir tenis topunu zıplattığımızda istediğimiz herhangi bir seviyeye ulaşacağını düşünürüz. Ona biraz fazla enerji veriyorsunuz ve biraz daha yükseğe çıkacaktır.

Kuantum mekaniğine göre bu mümkün değildir.

Şimdi, tüm bunlar oldukça tuhaf görünüyor. Çünkü günlük deneyimlerimize aykırı. Fakat bizler kuantumlanma fikrini reddetmeden önce; kuantumlanma kavramı, ayırık yörüngelerden bahsedince devreye girer; tenis topunun müsaade edilen yükseklikleri arasındaki farkların ve güneşin etrafında dolanan gezegenlerin müsaade edilen yörüngeleri arasındaki farkların ölçülemeyecek kadar küçük olduğunun farkına varmanız gerekir.

Diğer bir deyişle; kuantum mekaniği, makroskopik dünyamızda gerçekten bir rol oynamaz.

Atomlar tenis topuna göre çok çok küçüktür ama kuantumlanma etkileri, elektronların ve atomların mikroskop altı dünyalarında, bizim aşına olduğumuz beysbol, çanak-çömlek ve gezegen dünyalarına kıyasla daha büyüktür.

Devam etmeden önce, sizlere kuantum mekaniğinin mihenk taşlarından birini tekrarlamak istiyorum. Ve bu atomdaki elektronların, sadece çok iyi tanımlanmış enerji seviyelerinde bulunduğunu söyler. Bu seviyeleri, çekirdek etrafındaki yörüngeler olarak düşünebilirsiniz ve elektronlar bu yörüngeler arasında bulunamazlar.

Bir maddeyi ısıttığımda, atomdaki elektronlar, bir iç yörüngeden müsaade edilen bir dış yörüngeye geçebilir. Ve böyle yaptıklarında, bir boş uzay bırakabilirler. Fakat daha sonra, bu boşluğu doldurmak için yeniden düşünebilirler.

O yeri tekrar doldurabilirler.

Ve maddeyi ısıtmaya devam ettiğimde, bir çeşit sandalye kapmaca oyunu başlar.

Elektronlar en dış yörüngeye gidecekler, orada biraz kalabilir ve daha sonra alt yörüngelere, iç yörüngelere düşünebilirler.

Burada çok değerli bir vazo görüyorsunuz. Ve bu vazoyu yukarı kaldırdığımda, iş yapmam gerekir. Onu dünyanın merkezinden uzaklaştırıyorum. Şimdi, bu enerji kaybı oldu mu? Hayır. Vazoyu düşürebilirim ve kinetik enerji kazanacaktır. Bu enerjiyi geri elde edeceğim. Çekim potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülecek. Parçalara ayrılacak ve biraz ısı üretecek. Aslında, bu vazonun kırılması bir miktar enerjiyi harcayacaktır.

Benzer şekilde, elektronu en dış yörüngeye uyardığınızda verdiğiniz enerji elektronlar geri düştüğünde tekrar kazanılır. Öyleyse, bir paralellik söz konusu.

Vazoyu düşürmek ve yaptığınız işi geri almakta bir paralellik. 500 yıllık bir vazoya böyle bir şey yapmak çok hoş olmaz, bence bunu Ohanian'ın fizik kitabı ile yapmak mantıklıdır. Düşürebiliriz ve enerji ısı şeklinde çıkar ve belki de biraz gürültü biçiminde yayınlanır.

Elektronlar dış yörüngeden bir iç yörüngeye düştüğünde, serbest bırakılan kinetik enerji değildir, fakat genelde ışık, yani elektromagnetik radyasyon biçiminde yayınlanır. Işık, enerjiye sahiptir.

Einstein, ışık fotonunun enerjisini, h çarpı frekans şeklinde formüle etti ve h , Planck sabitidir. Adını Max Planck' tan alır. Ve h , yaklaşık 6.6 çarpı 10 üzeri eksi 34 joule-saniyedir.

8.01'de, λ yani ışığın dalga boyu, eşit ışık hızı bölü frekans olduğunu görmüştük.

O halde frekansı yok edersem, fotonunun enerjisini eşit hc bölü λ şeklinde yazabilirim.

Ve böylece burada, ne kadar fazla enerji varsa, dalga boyunun o kadar küçük olduğunu görüyorsunuz.

Ve ne kadar az enerji varsa, dalga boyu o kadar büyük.

Ve eğer bir dış yörüngeden bir iç yörüngeye geçiş çok büyük ise, bu durumda dalga boyu, geçiş nispeten küçük olduğuna kıyasla daha küçüktür.

Bu enerji geçişlerinin bir tür diyagramını yapabilirim.

Ve bunlar enerji seviyeleridir. Enerji bu yönde artmaktadır. Fakat isterseniz bu seviyeleri elektronların çekirdekten ne kadar mesafede olduğunu gösteren konumlar olarak düşünebilirsiniz. Bu seviye elektronun çekirdeğe en yakın durumdaki elektron seviyesidir.

Öyleyse, bu seviyeler müsaade edilen enerji seviyeleri, enerji yörüngeleri olacaktır.

Ve eğer bu elektron buraya geçerse, bir zaman sonra da geri düşecektir ve enerji bu fark kadar olacaktır ve hatta biz bu ışığı göremeyeceğiz.

Morötesi ışık olabilir. Ve bu geçiş halen morötesi olabilir. Fakat şimdi bu geçiş daha küçük bir enerjiye sahiptir ve spektrumumuzun mavi bölgesinde olabilir. O halde, bunu mavi ışık olarak görebiliriz.

Ve bundan daha düşük bir enerjiye sahip olan bu geçiş, yeşil ışık yayabilir.

Ve buradan buraya olan geçiş daha az enerji yayınlar ve kırmızı ışık yayınlayabilir.

Ve buradan buraya olan bu geçiş daha da az enerjilidir ve yine görünür olmayabilir, o halde bu geçiş kızılötesi ışık yayınlayabilir.

O halde elektronların, dış yörüngeden iç yörüngelere geçtikçe, farklı dalga boylarında kesikli enerji seviyeleri, kesikli dalga boyları yayınlamalarını beklersiniz. Bu dalga boyları, bu enerji seviyeleri arasında müsaade edilen geçişlere karşılık gelecektir.

Eğer biz çıkan bu ışığa bakar ve renklerine göre sınıflandırırsak; bir şekilde bu enerjileri görebiliriz.

Şimdi, küçük bir zarfın içinde ızgara olarak adlandırdığımız bir plastik parçasına sahipsiniz ve bu ızgara bizim spektrum olarak adlandırdığımız ışık renklerini ayrıştırma yeteneğine sahip. Ve birazdan bu ızgarayı neon ve helyumdan gelen ışığa bakmak için kullanacağız. Ama bunu yapmadan önce, rastgele seçeceğim birkaç kişiye hediye dağıtmak istiyorum. Ayrıca bunlar da kullanılabilir. Elinizdeki ızgaralar kadar iyi değildir, fakat iyidir. Daha güzel sonuçlar göreceksiniz, ama ızgara ile elde edilene kıyasla daha net değil. Bir tane sana, bir tane sana, bir tane sana ve bir tane de sana, Sen bir tane istiyorsun, bunu görebiliyorum.

Ve, sana, sana. Bu tarafta kimse almadı. Şimdi, oraya kadar dolaşmalıyım.

Dağıttığım şeyler gerçekten çocuk partileri için. Oo, George Costa, elbette bir tane sana. Profoser Costa, bir tane de size. Sizi pas geçemem.

Ve bir tane sana, tamam, bir tane sana.

Öncelikle elinizdeki ızgaraları kullanın. Fakat, çok iyi sonuç vermeyecek olan bunları da kullanabilirsiniz..

Burada içinde helyum olan bir lambayı yakacağım. Eğer elinizdeki ızgarayı uygun bir şekilde tutarsanız, 90 derece döndürmeniz gerekebilir, denediğiniz zaman nasıl çalıştığını anlayacaksınız. Bu durumda göreceğiniz şey, farklı renklerde oldukça keskin çizgilerdir. Çok keskin çizgileri görmeniznin sebebinin, ışık kaynağının çok keskin, çok dar çizgilere sahip olduğunu anlamanızı istiyorum.

Eğer ızgaraları, keskin ve dar olmayan bir şey üzerinde kullanırsanız; bu durumda, bu ızgaralar vasıtasıyla daha keskin, dar çizgiler göremeyeceksiniz. O halde ızgaranın üzerindeki çizgileri buradaki ışık kaynağım ile karıştırmayın. Şimdi, birazdan ızgaranız vasıtasıyla baktığınız zaman; her iki tarafta, mükemmel çizgiler göreceksiniz.

Bu bir ayna görüntüsüdür ve bunu daha ayrıntılı bir şekilde tartışacağız. Fakat ızgaranızla bakmadan önce, ilk olarak sizlerden ızgarasız bakmanızı istiyorum. Böylece ızgarayı kullandığınızda, bunu daha ilginç ve görsel bulacaksınız. Iızgarayı kullanmadığınız için, burada ne tür renklerin olduğuna dair, hiçbir ipucuna sahip değilsiniz. Ve göreceğiniz renkler, bu elektron seviyeleridir.

Ortamı karartacağım. Ve bunu açacağım. Ve bu helyum.

Burada bir ızgaram var.

Diğer taraftaki dikey çizgileri görebilmeniz için, bunu döndürmemiz gerekir.

90 derece döndürebilirsiniz, daha fazla değil.

Ve eğer, daha yakından bakarsanız, örneğin, ışığın sağ tarafına doğru, belirgin bir mavi çizgi, birkaç mavi çizgi, yeşil çizgi, çok parlak sarı çizgi, ve kırmızı çizgi göreceksiniz. Daha da sağ tarafa doğru giderseniz, tekrar ettiğini görürsünüz.

Biraz soluktur, fakat bunun tekrar ettiğini görürsünüz. Şimdilik bu önemli değil; Sadece yayınlanan bu ışığın, ayırık dalga boylarında, ayırık frekanslarda meydana geldiğini anlamanızı istiyorum. Ve bunlar müsaade edilen enerji seviyelerinden diğer müsaade edilen enerji seviyelerine olan geçişlere karşılıktır ve aralarında hiçbir şey yoktur.

Ve sol tarafa baktığınız zaman, sağ tarafta gördüğünüzün ayna görüntüsünü göreceksiniz. Helyum sadece iki elektrona sahiptir.

Şimdi neon lambasını takacağım. Ve, Neon'un 10 tane elektronu olduğu için, bu ışık olarak daha da zenginleşecektir. Bu durumda, elektronların köşe kapmaca oyunu oynayacakları, daha fazla yörüngemiz vardır.

Çizgilerin birçoğu kırmızı renkte.

Umarım önünüzü kapatmıyorum.

Çizgilerin birçoğu kırmızı ve bazı güzel çizgiler sarı renkli.

Biraz da yeşil çizgi görüyorum. Çok fazla mavi çizgi göremiyorum. Çok az mavi çizgi var. Ama buradaki anahtar şey, bu çizgilerin kesikli olduğunu görmeyi istememdir.

Oluşabilecek herhangi bir dalga boyu değil; sadece müsaade edilen yörüngelerden geçişlerdir. Elektron bir yörüngeden diğerine geçiş yaptığı zaman, köşe kapmaca oyunu, sizlere kesikli spektrum verir.

Bu ışık spektrumları, Bohr'un cesurca fikrinden uzun süre önce biliniyordu. Fakat kuantum mekaniğinden önce, bu çizgiler merak konusu idi. Fakat artık değiller.

Sizlere, bu ızgaraları gece dışarıda iken kullanmanızı öneriyorum, Bazı sokak lambalarına bakın: Özellikle sodyum ve civa lambalarına. Ve şüphesiz neon lambaları oldukça muhteşemdir. Fakat eğer, ışık kaynağınızın kendisi keskin, dar ışık kaynağı değilse, çok güzel keskin çizgileri göremeyeceğinizi aklınızda bulundurun.

Kuantum mekaniği 1920'lerde büyük bir sıçrama gerçekleştirdi. Ve kalan zamanda, tüm temel kavramların hakkını vermem imkansızdır.

Buna rağmen, oldukça anlaşılması zor olan bazı sonuçlarını anlatacağım.

Kuantum mekaniğinden önce, fizikçiler arasında ışığın parçacıklardan mı yoksa dalgalardan mı oluştuğu konusunda, epeydir devam eden bir tartışma vardı.

Newton, kesinlikle ışığın parçacıklardan oluştuğuna inanırdı ve Hollandalı Huygens ise, ışığın dalgalardan oluştuğuna inanırdı.

1801 yılında, ışığın dalgalardan oluştuğunu gösteren kesin deney Young tarafından yapıldı. Ve Huygens haklı gibiydi. Fakat, zaman geçtikçe, rahatsızlık büyüyordu, ayrıca ışığın gerçekten parçacıklardan oluştuğu sonucunu gösteren deneyler de vardı. Ve kuantum mekaniğinin en büyük başarılarından birisi ışığın hem dalga hem de parçacık olduğunu göstermesiydi.

Bazen dalga gibi davranıyor ve bazen ise parçacık gibi davranıyor; bu tamamen deneyi nasıl yaptığınıza bağlı olarak değişiyor.

1923 de, Louis de Broglie cesurca, parçacığın dalga olarak davranabileceği önerisinde bulundu ve daha kesin bir şekilde, dalga boyunun, ki bu şimdi de Broglie dalga boyu olarak bilinir, h Planck sabiti bölü parçacığın momentumu şeklinde olduğunu belirtti. Ve momentumu ise, bu 8.01 dersinde gördüğümüz gibi, parçacığın

kütlesi ile hızının çarpımıdır. Eğer momentum büyükse, bu durumda dalga boyu kısadır. Bir beysbol topu çok yüksek momentuma ve oldukça komik bir dalga boyuna sahip olacaktır.

O zamanda herkesin parçacık olarak düşündüğü elektron ve protonun, şimdi bu durumda dalga olarak da düşünülmesi şaşırtıcı sonuçlardan biridir. Ve 1926 da Avusturyalı fizikçi Schrodinger, bu olaya kendisinin meşhur denklemi ile, ki bu şimdi Schrödinger denklemi olarak adlandırılıyor, bir son koydu.

Bu denklem kuantum mekaniğin temel taşıdır ve maddenin dalga ve parçacık özelliğini birleştirmektedir.

Beysbol topuna dönecek olursak, beysbol topunun kütlesini yarım kilogram olarak alalım ve onun hızı 100 mil bölü saat olsun.

Dalga boyunu hesaplayalım. Kuantum mekaniğine göre, bu dalga boyu son derece küçük çıkacaktır. Bu yaklaşık elektronun yarıçapından 20 mertebe daha küçüktür. Dolayısıyla, tamamen anlamsızdır. Kuantum mekaniği, çanak çömleğin, beysbol topunun makroskopik dünyasında bir rol oynamaz.

Ama şimdi bir elektronu ele alalım.

Elektronun kütlesini 10 üzeri -30 kilogram alabilirsiniz. Ve elektronun hızı 1000 metre bölü saniye olsun. Bu durumda, görülür ışığın, kırmızı ışığın dalga boyu ile mukayese edilebilir bir dalga boyu elde edersiniz.

Ve şimdi bu sonuç; daha anlamlı ve ölçülebilir bir sonuçtur.

Şimdi, “Ne fark eder? Bir şeylerin parçacık ya da dalga olup olmadığı kimin umurunda?” tartışmasını yapabilirsiniz. Aslında çok fark eder. Çünkü dalgaların, tepeleri ve çukurları olur. Eğer iki dalga kaynağını, ister suyun üzerinde aşağı yukarı vuran su dalgalarını, ister iki ses kaynağını alırsanız, bu durumda suyun yüzeyindeki belli bölgelerde bir dalganın tepesi ile diğerinin çukurunun aynı anda ulaştığı bölgeler vardır. Ve böylece bunlar birbirlerini yok eder.

Suyun üzerinde hiçbir hareket olmaz. Bunu yıkıcı girişim olarak adlandırırız.

Tabii ki, birbirlerini kuvvetlendiren, yapıcı girişimlerin olduğu diğer bölgeler de vardır.

Şimdi, eğer parçacıklar da bunu yaparlarsa, bunu hayal etmek oldukça zordur.

Nasıl bir parçacık başka parçacık ile girişim yapar ve gözden kaybolur ve iki parçacık yok olur? Aslında, eğer parçacıklar dalga özelliği gösteriyorlarsa, iki parçacığın girişim deseni olarak bunu gösterebilmeniz gerekir. Aynen su dalgalarındaki gibi.

Ve uzayda belli bölgelerde, bu parçacıklar yok olur. Ve bunun mümkün olduğu meydana çıkar. Fakat, bu pek sezgisel bir fikir değildir.

İki parçacık yok olamaz dediğimiz zaman oldukça klasik düşünürüz. Fakat, kuantum mekaniğinde, eğer onları dalga olarak düşünürseniz, bu durumda girişim desenleri ve belli bölgelerdeki yıkıcı girişim olacaktır ve bu olguyla ilgili hiçbir probleminiz kalmaz.

Kuantum mekaniğinin, klasik mekanikte göze çarpan başka sonuçları da vardır.

Eğer sizler ve ben yeteri kadar zekiysek, bir cismin konumunu istediğimiz bir doğrulukla ve aynı zamanda momentumunu da istediğimiz bir doğrulukla belirleyebileceğimizi düşünürüz. Ne kadar zeki olduğumuzun bir göstergesidir.

Eş zamanlı olarak, cisim tam orada, bu onun kütlesi ve bu da onun hızı.

Fakat, 1927 yılında Alman fizikçi Heisenberg, kuantum mekaniğinin sonucu gereği bunun mümkün olmadığını ortaya koydu.

Söylediğim size garip gelebilir. Heisenberg, bir cismin momentumunun ve konumunun, aynı zamanda tam doğru bir şekilde ölçülemeyeceğini ifade etti.

Ve Heisenberg'in belirsizlik ilkesini bildiğimiz şekli ile okuyacağım.

“Bir cismin aynı anda kesin bir konumu ve kesin bir momentumu olduğu kavramı doğada anlamsızdır”. Bu oldukça derin ve klasik olmayan bir düşüncedir ve herhangi birimiz için, sizler ve ben dahil bunu anlamak zordur.

Fakat, günümüze kadar yapabildiğimiz bütün deneylerle uyushmaktadır.

Tekrarlamak istiyorum, Çünkü bu, bundan sonra anlatılan şeyler için önemlidir. “Bir cismin kesin konumunun ve kesin momentumunun birlikte olması kavramı doğada anlamsızdır”. Bu ne anlama gelir? Öncelikle, Heisenberg'in belirsizlik ilkesini yazayım.

Δp , momentumdaki belirsizlik, Δx , parçacığın konumundaki belirsizlik, Planck sabiti bölü 2π den büyük yada eşittir.

Bunu fizikte h çizgi olarak adlandırırız. Ve h çizgi, yaklaşık olarak 10^{-34} joule-saniyedir. h nin, 6.6 çarpı 10^{-34} olduğunu görüyorsunuz. Eğer bunu 2π ye bölerseniz, yaklaşık olarak 10^{-34} elde edersiniz.

Şimdi bu ne anlama geliyor? Bu eğer konum, Δx doğruluğunda biliniyorsa,

Bu konuda bazı örnekler vereceğiz,

momentumdaki belirsizlik, Δp büyük eşit h çizgi bölü Δx değerinden daha iyi bir doğrulukla belirlenemez. İşte söylediği budur.

Ve sizlere George Gamow'un kitabından seçtiğim bir örnek vereceğim.

Gamow, “Mr Tompkins in Wonderland” adlı bir kitap yazdı. Kitap rüyalar hakkında idi.

Mr Tompkims, kuantum dünyasını anlamak istiyor ve bir profesör var.

Profesörün resmini göreceksiniz.

Ve profesör, Tompkims'i rüyasında, kuantum mekaniğinin anlaşılması oldukça zor olan çeşitli olaylarına götürüyor.

Ve bu rüyalardan birinde, profesör, h çizgiyi 1 yapmamızı öneriyor.

Ve profesör bilardo masasındaki üçgeni alır ve üçgeni bir bilardo topunun üzerine koyar. Böylece bilardo topunun konumu sınırlandırılmıştır ve bu Δx değeri kabaca, 30 santimetre olsun. 0.3 metre.

Bu momentumun 1 bölü 0.3 yani 3 kg metre bölü saniyeden daha iyi bir doğrulukla belirlenemeyeceği anlamına gelir.

Eğer bilardo topunun kütesini 1 kilogram alırsak, bu durumda, Δp eşit $m \Delta v$, eğer m 1 kilogransa bu Δv olur ve bilardo topunun hızı Heisenberg belirsizlik prensibine göre, en az yaklaşık 3 metre bölü saniyeden daha iyi bir şekilde belirlenemez.

3 metre bölü saniye. Bu saatte 7 mil demektir. O halde bu bilardo topu, bu üçgenin içerisinde deli gibi dolacaktır. Ve bu tamamen rüyasında olan şeydir.

Ve bu kitaptan size bir resim göstereceğim.

Mr Tompkims daima pijamalarıyla görünmektedir. Bunun sadece bir rüya olduğunu hatırlatırım. Ve söylemeye gerek yok, profesör çok yaşlı ve çok güzel sakalları var. bu ona saygınlık katıyor. Ve kitaptan birşeyler okuyacağım. Bununla alakalı olan çok kısa bir paragraf okuyacağım.

Ve Profesör diyor ki; “Buraya bak, topu bu tahta üçgenin içerisine koyarak konumuna sınırlar koyacağım”. Top kapalı bir yere konur konmaz, üçgenin içinin tamamı bilardo topunun parıltısı ile dolacaktır.

Profesör der ki: “ Görüyorsunuz, topun konumunu üçgenin boyutları ile sınırladım”

“Bu gözle görülür bir belirsizliğe sebep olur ve top üçgenin sınırları içerisinde hızlıca hareket eder.

Onu durduramaz mısınız? diye sordu Mr Tompkims.

“ Hayır, bu, fiziksel olarak imkansızdır.” “Kapalı uzaydaki herkes, belli bir harekete sahip olur”. “Biz fizikçiler bunu, sıfır nokta hareketi olarak tanımlarız”. Örneğin herhangi bir atomdaki elektronların hareketi gibi” Böylece h çizgi 1 olduğu zaman kuantum mekaniğinin geçerli olduğunu görüyorsunuz.

Bu klasik olmayan bir fikirdir, çünkü sizler ve ben, bu 8.01 dersinde, bir cismi alıp a konumuna koyarsanız ve t sıfır anında a konumundadır dersiniz. Herhangi bir hızla

sahip değil ve kütlesini de biliyoruz, böylece sonsuz doğrulukta konumunu ve momentumunu bilebiliriz. Ama bu kuantum mekaniğine göre mümkün değildir.

O halde şimdi h çizginin 1 olmayıp, 10 üzeri eksi 34 olduğu gerçek dünyaya geri dönelim. Ve bir bilardo topunu bu üçgenin içine koyalım.

Şimdi Δx aynıdır. h çizgi 10 üzeri eksi 34 olduğundan, Δp , kesinlikle 10 üzeri 34 kat daha küçüktür. Ve hız 10 üzeri 34 kat daha küçüktür.

Bu belirsizlik son derece küçüktür.

Şimdi hızın değeri 3 çarpı 10 üzeri eksi 34 metre bölü saniyeden daha iyi belirlenemez.

Eğer topun bu hızda hareket etmesine izin vererseniz, 100 milyar yılda, elektronun çapının 1/100 ü kadar hareket edecektir, O halde yine anlamsızdır.

Ve yine, kuantum mekaniği beysbol, basketbol, bilardo, çanak çömlek gibi günlük makroskobik dünyamızda hiçbir rol oynamaz.

Ve bundan dolayı, “a noktasında bulunan bir bilardo topumuz var ve onun kütlesi 1 kilogram ve hızı yok” şeklinde söylemek normaldir. Bu tamamıyla kabul edilebilir ve kuantum mekaniğinin bununla bir problemi olmaz.

Tekrar atoma dönelim. Hidrojen atomunu alalım. Hidrojen atomunun çapı, yaklaşık 10 üzeri eksi 10 metredir. O halde elektron Δx in yaklaşık 10 üzeri eksi 10 metre olduğu bir konumda sınırlanmıştır.

Bu elektronun momentumunun belirlenemeyeceği anlamına gelir.

Heisenberg belirsizlik ilkesine göre, momentum yaklaşık 10 üzeri eksi 34 bölü 10 üzeri eksi 10, yaklaşık 10 üzeri eksi 24 kilogram-metre bölü saniye olur.

Elektronun kütlesi nedir? Yaklaşık 10 üzeri eksi 30 kilogram.

Bu, Δp aynı zamanda, m çarpı Δv dir.

Bu Δv nin, elektronun hızının, Heisenberg belirsizlik ilkesine göre 10 üzeri eksi 24, bu Δp dir, bölü elektronun kütlesi, bu 10 üzeri eksi 30 dur, yani 10 üzeri 6 metre bölü saniyeden daha iyi belirlenemeyeceğini ifade eder. Bu ışık hızının 3 te biridir.

O halde, elektron sadece sınırlandırılmış olduğundan dolayı hareket ediyor.

Kuantum mekaniğin ibaret olduğu şey budur. Elektronların hareketi yalnızca kuantum mekaniği tarafından belirlenir.

Heisenberg belirsizlik ilkesinin sezgisel bir şey olmadığı konusunda sizleri ikna etmek için bir deney yapacağım. Burada bir lazer ışığım var ve bu lazer ışığı dar bir yarıktan geçecektir.

Bunu çizeyim. Bu ışığı kapatacağım. Ve düşey olan bu yarık, daraltılabilir veya genişletilebilir. Burada lazer ışını var ve burası açık kısım yani yarık.

Sadece bu yönde sınırlanmıştır, bu yönde değil.

Ve ışık buradan çıkacak ve daha sonra, ışık bu yarıktan geçeceğinden dolayı, büyük L mesafe uzakta olan ve orada görülen ekranda, bu ışık noktasını göreceğiz.

Yarığın tamamıyla açık olduğu durum ile başlayacağım ve böylece bu ışık noktasını, bu şekilde göreceksiniz. Ve daha sonra bu yarığı gittikçe daraltacağım ve lazer ışığını kestiğim sürece göreceğiniz şey, tam olarak beklediğiniz şey olacaktır.

Bu ışığın kaybolacağını bekleyebilirsiniz. Ve lazer ışığını daha fazla kestiğim zaman, tam olarak beklediğiniz şeyi göreceksiniz. Bu ışığın kaybolacağını göreceksiniz.

Ve böylece o ekrandaki ışık noktası daha dar ve daha dar ve daha dar olacaktır.

Ve bu durumda öyle bir nokta gelecektir ki Heisenberg, “dikkatli ol, çünkü senin Δx değerini, ışığın bu yöndeki doğrusal gidişine göre o kadar yüksek ki, şimdi ben ışığın momentumundaki belirsizliğini de işin içine katacağım” diyecektir.

Şimdi bu ışığın momentumu, artık sonsuz doğrulukta belirlenemez. Eğer x yönünde ışığın momentumu ile ilgilenmeye başlarsanız; bu artık ışığın doğru bir şekilde gitmeyeceği ve açıyla gideceği anlamına gelir. Ve bunun için daha niceliksel bir hesaplama yapacağım.

Bu yarığa üstten bakalım. Bu yarık, ve yarığın açıklığı Δx tir.

Ve bu Δx değerini, gittikçe küçülteceğiz. Δx değerinin yaklaşık 1/10 milimetre yani 10 üzeri eksi 4 metre olduğu durum ile başlayalım.

Işığım var, ışığın dalga boyunu biliyorum ve De Broglie'ye göre λ eşit h bölü p olduğunu da biliyorum. Dalga boyunu biliyorum, h 'yi biliyorum ve öyleyse ışığın momentumunu hesaplayabilirim. Bunu yaptım, bana inanın.

Yaklaşık 10 üzeri eksi 27 kilogram-metre bölü saniye.

Bu bireysel ışık fotonunun momentumudur.

De Broglie' ye göre bunları parçacıklar gibi düşünebilirsiniz.

Bu durumda Δp , Heisenberg'e göre belirlenemeyecek olan momentum derecesi, 10 üzeri eksi 34, bölü Δx , yani 10 üzeri eksi 4 olacaktır ve sonuç böylece 10 üzeri eksi 30 olur. Oldukça küçük.

Fakat momentumun kendisi 10 üzeri eksi 27 dir. O halde sadece 1000 de birdir.

O halde, eğer ışık buradan gelirse, ne olacak? Ve şimdi klasik bir tartışma yapacağım.

Bu, ışık aşağı doğru geldikçe, ışığın momentumu budur. Işık bu dar aralıkta sıkıştırıldığı zaman, Heisenberg belirsizlik ilkesi, bu yöndeki momentumun tam doğrulukla belirlenemeyeceğini ve kabaca 10 üzeri eksi 30 veya daha fazla olacağını ifade eder. Bunun daima büyük eşit olduğunu unutmayın.

Başka bir deyişle, örneğin eğer Δp yi bu yönde veya bu yönde gösterirsem, bu durumda ışığın birazının bu yönde gitmesini bekleyebilirim.

Bu momentumdaki değişim, momentumdaki belirsizlik olup, ışığın sadece x yönünde açıyla gitmesini sağlar.

Eğer bu şekilde bir yarığım olsaydı, bu yönde olacağını beklemeyin. Çünkü y yönündeki belirsizlik sorun değildir.

Δy çok küçük değil, çok küçük olan Δx tir. Böylece sizlere sorun oluşturacak olan bu yöndür. Işığın tam olarak gittiğini bildiğimiz yön sadece budur. Bu yön mesele değildir.

O halde, bu θ açısı kabaca hesaplanabilir.

θ , açıkça Δp bölü p dir. O halde θ kabaca 10 üzeri eksi 3 radyan, derecenin 15 de biridir. Eğer bu uzaklık L ise, eğer burada bir ekranınız var ise, bu durumda ekrandaki nokta, eğer bunu X_L olarak alırsam, bu durumda X_L , açıkça θ çarpı L dir.

Ve eğer θ , 10 üzeri eksi 3 ise, ve bunun bizlerden yaklaşık 10 metre uzaklıkta olduğunu varsayalım, O halde, L yaklaşık 10 metredir.

Bu durumda, 10 üzeri eksi 2 metre elde edersiniz. Bu 1 santimetredir.

Bu yönde 1 santimetre ve bu yönde 1 santimetre. İki santimetre.

Fakat, bu yarığın genişliğini 10 kat küçülttüğümde, eğer yarığın genişliği milimetrenin sadece 1/100'ü ise, bu durumda burası 10 santimetre olur. Çünkü şimdi Δx 'i 10 kat daha iyi biliyorum ve bu durumda Δp , 10 kat daha belirsizleşir.

Ve şimdi en azından 20 santimetrelilik bir lekeyi burada, en azından 20 santimetrelilik bir lekeyi de burada görmeyi umuyorum.

Buradaki saçmalık, başlangıçta orada minicik bir nokta olarak gördüğünüz ışık, yarığın genişliğini küçülttüğüm zaman, yarıktan geçen fotonların azalacağını göreceksiniz; yarığın genişliğini daha da küçülttüğüm zaman aniden ışık yayılmaya başlayacak ve milimetrenin onda birine yaklaştığım zaman, ışık noktasının bu büyüklükte olmasıdır.

Anlaşılması zor. Yarığı daraltıyorsunuz, fotonlar dağılıyor.

Ve şimdi bunu sizlere göstermek istiyorum. Ortamı karartmalıyım.

Ve fenere ihtiyacım var, lazer ışığını açalım. Orada görüyorsunuz.

Yarık, şimdi tamamıyla açık. Evet, tamamen açık, şimdi yarığı yavaşça kapatacağım.

Ve eğer dikkatlice bakarsanız, göreceksiniz.

Kırmızı lazerimi de alayım, böylece orayı gösterebilirim.

Işığın, yatay doğrultuda sıkışacağını göreceksiniz.

Zaten sol tarafta ve aynı zamanda sağ tarafta, keskin dikey kesikleri görüyorsunuz.

Daralıyor, daralıyor. Daralıyor, fakat henüz milimetrenin onda birinde değilim.

Kesinlikle daralıyor. Görüyorsunuz, daralıyor, daralıyor.

Eğer buraya bakarsanız, henüz milimetrenin onda birinde değilim fakat yaklaşıyorum.

Yarığı yavaşça küçültüyorum. Bu fotonlarını sıkıştırıyorum.

Bu fotonlar, şimdi son derece dar olan bu aralıktan geçmek için zorlanıyorlar. Birazdan Heisenberg işe karışacak ve “bunun bedelini ödeyeceksiniz”, diyecektir.

Bu fotonların x yönünde olduğunu iyi biliyorsunuz.

Ödeyeceğiniz bedel, tabiatın momentumu x yönünde belirsiz yapacağıdır.

Şimdi görüyorsunuz. Gerçekten merkez kısmın genişlediğini görmeye başlıyorsunuz.

Hatta fotonlar görünmeye başladı.

Burada, birkaç karanlık çizgi görüyorsunuz. Bunları bugün daha fazla tartışmayacağım. Fakat, ışığın yayıldığına dikkat edin.

Elbette, yarığı küçülttüğümde, daralttığımda, ışığı kaybedeceğim açıktır. Çünkü yarığın kenarlarına çarpan ışık geçemeyecektir. Böylece ışık şiddeti düşecektir.

Bu kaçınılmazdır. Daha az foton kullanıyorum. Fakat, buna bakın.

Burada da fotonlar var, orada da fotonlar var. Bu kısım, en az 10 santimetre.

Buradan buraya olan mesafe en az, bir foot. Daha da küçültüyorum.

Bir metrenin yarısından daha fazla. Daha da küçültüyorum.

Şimdi bu, yaklaşık 1 metre.

Hatta daha da fazla küçültüyorum.

Şimdi yarığı kapatıyorum ve yavaşça açacağım.

Yarığı yavaşça açıyorum, açık olduğu anda.

Buna bakın! Bu mükemmel şeridi görüyor musunuz? Bir kuyruklu yıldız gibi.

Buradan buraya olan mesafe en az 1 metre.

Burası, ışığın merkez kısmıdır.

Işık yayıldı. Çünkü zayıf ışık, bu dar açıklıktan geçmek için zorlandı.

Şimdi yarığı daha fazla açıyorum.

Daha fazla açıyorum ve şimdi, elbette, tersi durum oluşuyor.

Anlaşılması son derece zor.

Buraya kadar, kuantum mekaniğinin sadece yörüngeler arası elektronların geçişlerinde geçerli olmadığını aynı zamanda kuantum mekaniğinin ilginç sonuçlarından biri olan Heisenberg belirsizlik ilkesinin de var olduğunu gördük.

Şimdi, Heisenberg belirsizlik ilkesi olmaksızın ışığın dağılması kolay bir şekilde açıklanabilir. Aslında, neden böyle bir şeyin olduğu, geçen yüzyılda bile biliniyordu. Ve karanlık çizgiler doğru bir şekilde açıklanıyordu.

Sizlere tüm göstermek istediğim şey, ışığın dağılmasının tamamıyla Heisenberg belirsizlik ilkesi ile uyuşmakta olduğudur ve hatta öyle olması gerekir. Çünkü, Heisenberg belirsizlik ilkesine ters düşecek herhangi bir deneyi yapabilmek düşünülemez, mümkün değildir.

Eğer oradaki ekranda gördüğünüz ışık noktası, klasik olarak düşündüğümüz gibi, her zaman daralır, daralır ve daralırsa, bu Heisenberg belirsizlik ilkesinin ihlali olur ve bu da mümkün değildir.

Fotonların önceden nerede sonlanacağını tahmin etmenin bir yolu yoktur.

Kuantum mekaniği ile yapabileceğiniz tüm şey, çok sayıda foton ile deney yaparsanız bu durumda, belli bir dağılım elde edersiniz. Ve bu dağılım tam olarak orada gördüğünüz gibidir.

Kuantum mekaniği, tek bir fotonun nerede sonlanacağını asla tahmin edemez.

Merkezde parlak noktayı gördük. Eğer bu deneyi günde bir foton ile yaparsanız.

Bu yarıktan günde bir foton geçecektir.

Ve orada bir fotoğraf plakanız varsa, aylarca bu plakayı burada tutar ve banyo ederseniz, orada gördüğünüz desenin aynısını görürsünüz.

Bu foton bugün varacak.. Buraya yarın varacak.. Buraya yarından sonra varacak.

Buraya bir gün sonra, bir gün sonra buraya, bir gün sonra, bir gün sonra, bir gün sonra, bir gün sonra, bir gün sonra, ve yavaşça orada görmüş olduğunuz deseni görmeye başlayacaksınız.

Bu görmüş olduğunuz girişim deseninin, yarıktan aynı anda geçen iki fotonun sonucu oluştuğunu düşünmeyin. Öyle değildir.

Bunu birer birer tek foton ile yapabilirsiniz ve tamamıyla aynı şeyi görürsünüz.

Özel bir fotonun önceden ne yapacağını tahmin edilemeyeceği fikri oldukça klasik olmayan bir fikirdir ve bizleri yanlış sonuçlara götürür. Çünkü bizim klasik düşünme şeklimiz ve sizler de bu konuda benden farklı düşünmüyorsunuz, eğer bir deneyi kontrollü bir şekilde yüz kere yapsanız, yüz defasında da tamamıyla aynı sonucu elde etmeniz gerekir.

Kuantum mekaniği böyle demiyor. Kuantum mekaniğinin söyleyeceği tek şey, meydana gelecek şeyin ihtimalinin ne olduğudur. Garanti yok, ama olasılıkları tahmin etmekte çok iyi.

Einstein'ın, ne olacağını tam olarak bilememe konusunda oldukça büyük problemi vardı. O, Bohr ve diğerleri ile, ne olacağını tahmin edemeyecekleri için, kuantum mekaniğinde bir şeylerin yanlış olması gerektiği konusunda onları ikna etmek için, bitmeyen tartışmalar yaptı. Ve Einstein'ın ünlü sözü, "Tanrı zar atmaz" dır. Bu O'nun söyleme şekliydi. Oldukça iyi bir şekilde kontrol edilmiş deneyin sonucunun belirsiz olması saçmadır. Şimdi, kuantum mekaniğinin başlangıcından beri neredeyse 90 yıl geçti ve şimdi Tanrının, eğer varsa, zar attığını biliyoruz.

Bununla birlikte, Tanrı kuantum mekaniğinin kurallarına bağlıdır ve Heisenberg belirsizlik ilkesini ihmal edemez.

Yarığı mümkün olduğu kadar dar yaptığım zaman, ışık dağılma olmaksızın düz bir şekilde gidemez.

Öyleyse kuantum mekaniği, günlük yaşantımızda nadiren karşılaştığımız garip bir dünyadır. Çünkü biz basket toplarına, beysbol toplarına ve tenis toplarına alıştık.

Böyle olmakla beraber, dünyanın tıkrında işlemesinin nedeni budur. Ve atom ve moleküller kuantum mekaniğinden dolayı mevcutturlar.

Bu, sizlerin ve benim kuantum mekaniği sayesinde var olduğumuzu ifade eder.

Umarım bu sizin bir şeyler hakkında düşünmenizi sağlar. Fakat sizleri şimdiden uyarıyorum. Çünkü, eğer bu şekilde düşünmeye başlarsanız, bu size baş ağrısı ve uykusuz geceler verecektir.

Ve bu bana geçmişte sayısız uykusuz geceler verdi. Hatta bugün kuantum mekaniğinin tuhaf sonuçlarını düşündüğüm zaman bile uykusuz bir gece yaşarım.

Onu hala anlayamam, onu hala özümseyemem ve hala baş ağrılı ve uykusuz gecelerim olur.



Fakat, eğer eninde sonunda bağımsız bir şekilde düşünen bir bilim adamı olmak istiyorsanız, bu uykusuz geceleri geçirmek gerekli olabilir. Ve umarım bir gün hepiniz bilim adamı olursunuz. Teşekkürler.