

Kuantum Radarı

Dr. Cahit Karakuş

Giriş	2
Elektromanyetik Işıma	3
Kuantum fiziği	6
Kuantum teorisi.....	7
Foton	9
Kuantum Radarı	14
Dolanıklık.....	16
Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi	17
Nedensellik.....	22
Momentum	23
Isı Yayılımı.....	24
Kaynaklar.....	28

Giriş

Geleneksel bir radar anteni, belirli bir uzay bölgesini taramak için mikrodalga ışınım yapar. Mikrodalga ışınım taranan bölgede herhangi bir hedef nesne ile karşılaştığında sinyal geri yansır. Ancak arka plan gürültüsü üreten ve düşük yansıtıcılığa sahip nesnelerin bu radarlar ile tespit edilmesi zordur. Bu nedenle, geleneksel radar sistemleri hayalet uçakları tespit etmekte yetersiz kalmaktadır. Çünkü, bu uçakların elektromanyetik dalgaları emen ve hedef dışına yansıtan özel boyalarla kaplı olan yüzeyleri ve biçimleri vardır.

Kuantum radarı, tespit edilmesi zor olan hedeflerin çok daha ayrıntılı bir görüntüsünü sağlayan yüksek tanımlı bir algılama sistemidir. Uçakları, füzeleri ve diğer hava hedeflerini tanımlamak için yeterli ayrıntı sağlayabilen kuantum radarının temeli elektromanyetik dalgaları taşıyan fotonlar ile tutsaklığı (dolanıklılığı ya da bağımlılığı) olan elektronların davranışlarının olasılık matematik temelinde analizine dayanmaktadır.

İletkenlerdeki atomların son yörüngelerinde, yüksek enerji düzeyinde bulunan elektronlar hareket halindedirler. Antenlerde ise iletkenlerdeki atomların son yörüngesinde ilerleyen elektronlar, iletkenin sonuna geldiklerinde boşluğa transfer olamazlar; düşük enerji düzeyindeki alçak yörüngelere geçerler. Bu durumda elektronun sahip olduğu enerji ise havaya fotonlar halinde parçacık yayar. Foton, elektromanyetik kuvvet'in kuvvet taşıyıcısıdır. Foton hem dalga hem de parçacık özelliği gösterir. Antenlerdeki etkin ışınım alanı, foton enerjisinin yoğunlaştığı bölgedir.

Kuantum radarı, birbirine bağımlılığı ya da dolanıklılığı bulunan, foton parçacığı, bir enerji parçacığı olarak boşlukta ışıırken, yörünge değiştiren elektron parçacık ise tutsak edilir. Bu tutsaklığın bağı özeldir, sadece kendilerine ait birbirlerini fark etme bağları vardır. Dolanıklık ya da tutsak parçacık ile arasında çok büyük bir mesafe olsa bile, hiç iletişim imkanı bulunmayan iki parçacık arasında çok önemli korelasyonlar (bağımlılık davranışları) gözlenir. Bunlardan biri üzerinde yapılan bir ölçümün hemen öbürünü de etkilediği görülmüştür. Bununla birlikte tutsak edilen elektronların davranış değişikliği analiz edilerek aşağıdaki sorulara yanıt aranır,

- Bir nesneyle karşılaşıldı mı?
- Nesnenin şekli, konumu ve yönü nedir?

Dolanıklık denilen kuantum tutsaklık bağı, iki veya daha fazla atom altı parçacığın etkileşime girmesiyle veya beraber üretilmesiyle fiziksel özelliklerinin birbirine klasik fizik ile betimleyemediğimiz bir şekilde tutsaklık (dolanmışlık) olmasına deniyor.

Bu çalışmada kuantum radarların temel prensipleri üzerine bir araştırma yapılmıştır.

Elektromanyetik Işıma

Radyasyon da denilen elektromanyetik ışım, dalga ve parçacık olarak adlandırılan elektromanyetik yayınım yapan enerjidir. Parçacık radyasyonu, belli enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon ise belli bir enerjiye sahip ancak kütlesiz elektromanyetik enerji yayan dalgalardır. Görünür ışık dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla hareket ederler. Gözlerimizin fark edebileceği en yüksek enerjili ışık mor renkli ışıktır. Radyasyonun enerjisi arttıkça ışık rengi görünür ışıktan mor renk ötesine gider ve morötesi olarak adlandırılır. Morötesi ışığı göremez veya hissedemeyiz, ancak ortamda mevcuttur ve eğer şiddeti büyükse ciltte bırakacağı güneş yanığına benzer yanık izleri ile varlığı hissedilir.

Atomların kararlı hallerinin tamamında elektronlar çekirdek etrafında dairesel yörünge izlerler. İletkenlerdeki atomların son yörüngelerinde, yüksek enerji düzeyinde bulunan elektronlar hareket halindedirler. Antenlerde ise iletkenlerdeki atomların son yörüngesinde ilerleyen elektronlar, iletkenin sonuna geldiklerinde boşluğa transfer olamazlar; düşük enerji düzeyindeki alçak yörüngelere geçerler. Bu durumda elektronun sahip olduğu enerji ise havaya fotonlar halinde parçacık yayar. Foton, elektromanyetik kuvvet'in kuvvet taşıyıcısıdır. Foton hem dalga hem de parçacık özelliği gösterir. Antenlerdeki etkin ışım alanı, foton enerjisinin yoğunlaştığı bölgedir.

Parçacık ve dalga tipi radyasyonları, "iyonlaştırıcı" ve "iyonlaştırıcı olmayan" radyasyonlar olarak ikiye ayrılırlar. İyonlaştırıcı radyasyonlar, tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir. İnsan hücrelerinin değişimine neden oldukları, kanser oluşturdukları ve kromozomları değiştirdikleri için tehlikelidir. İyonlaşmanın olduğu yayınımların dış dökülmesine, kan kanserine ve sakat doğumlara neden olduğu da bilinmektedir. Aynı zamanda X ışınları, Radyum gibi iyonlaşmanın olduğu radyasyonlar kanser tedavisinde kanserli hücreleri öldürmek için de kullanılır. Başlıca iyonlaştırıcı radyasyon çeşitleri; Alfa ve Beta parçacıkları, X ve Gama ışınları ve Nötronlar olarak sıralanmaktadır.

İyonize olmayan dalgalar ise Radyo dalgaları, Mikrodalga, Kızıl ötesi ışık, Görünen ışık, ve Morötesi ışık olarak sıralanır. Radyo ve mikrodalgalar günümüzde çok yoğun olarak kullanılmaktadır. İyonize olmayan dalgalar girdikleri dokulara enerjilerini aktararak ısıyı artırır ya da hücre zarlarının çalışma biçimini değiştirirler. Ayrıca dokulardaki hücre zarlarının normal işlevini bozan ısı olmayan etkiler de gözlenmiştir. Mikrodalgalar kullanılarak insanların nasıl yönlendirileceği konusundaki çalışmalar, hücre zarlarının verdiği tepkiler üzerine yoğunlaşmıştır. Frekans yükseldikçe taşıdığı enerji büyüdüğünden yüksek frekanslarda dokulara aktarılan enerji büyük olacağından ısınma ve işlev bozucu etkileri de büyük olur.

Elektromanyetik alışı gücü, P_r , (1) nolu Friis denklemi ile tanımlanır. Elektromagnetik dalga yayılım yaparken uzaklığa ve ışıma yaptığı frekansa bağı olarak zayıflar.

$$P_r = P_t G_t L_t G_r L_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

Burada

P_r : alışı güç seviyesi, (Watt)

P_t : verici çıkışı gücü, (Watt)

G_t : verici anten kazancı, (numerik),

L_t : verici tarafta hat kaybı, (numerik),

G_r : alıcı anten kazancı (numerik),

L_r : alıcı tarafta hat kaybı (numerik),

d : Alıcı verici antenler arasındaki uzaklık (metre),

Dalga boyu,

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Burada

λ : dalga uzunluğu, (metre),

c =ışık hızı= 3×10^8 m/s

f =frekans, (Hz=1/s) dir.

Antenin ışıma parçasının boyutları dalga boyu, λ 'nın fonksiyonudur.

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e \eta_e$$

Burada G antenin kazancı ya da ışımanın yönlendiriciliği; A_e , antenin etkin ışıma alanı, elektromanyetik enerji yoğunlaşma bölgesi; η_e , antenin ışıma verimliliğidir.

(1) nolu denklem logaritmik olarak düzenlenirse, P_r , dBm cinsinden aşağıdaki biçimde yazılır.

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_t - L_r - FSL \quad (2)$$

FSL: serbest uzay yol kaybı olarak adlandırılır.

$$FSL = 32.45 + 20 \log(R_{km} \times f_{MHz})$$

Verici antenden d , metre uzaktaki güç yoğunluğu,

$$P_d = \frac{P_t G_t L_t}{4\pi d^2}, \text{ watt/m}^2 \quad (3)$$

formülü ile verilmektedir.

Serbest uzaydaki uzak alanda elektromanyetik dalganın taşıdığı güç yoğunluğu elektrik alan şiddetinden de hesaplanır.

$$P_d = \frac{E^2}{\eta_0} = \frac{E^2}{120\pi} \quad \text{W/m}^2 \quad (4)$$

(3) ve (4) nolu denklemlerden elektrik alan şiddeti güç yoğunluğu ya da verici gücü cinsinden hesaplanabilir.

$$E = \sqrt{120\pi P_d} = 19.4 \sqrt{P_d} = \frac{5.48}{R} \sqrt{P_t G_t L_t} \quad \text{V/m}. \quad (5)$$

Elektromanyetik dalgaları yaymak veya almak için anten dediğimiz çok iyi iletken metaller kullanılır. Anten, hava ile elektronik cihazlar arasındaki geçiş yapısıdır. Antenler, elektrik sinyallerini havaya elektromanyetik dalga olarak ışırlar, havadaki elektromanyetik sinyalleri ise elektrik sinyaline dönüştürürler.

Kuantum fiziği

Newton mekaniği, makro ölçekte olan kısımları açıklamak için kullanılırken mikro ölçekte evreni anlamaya geldiğimizde Newton mekaniğinin bunlar için yetersiz kaldığını görürüz. Klasik fizik insanın dışarıdan gözlem yaptığı bir bilimdir ancak kuantum fiziğinde insan bütünün bir parçasıdır, yaptığı hesabın içindedir, bir diğer anlamda, gözlemin içindedir, bu sebepten anlaşılması zordur. Buzdolabının kapağını kapattığınızda içerdeki ışık söner ama gözlemleyemezsiniz. Işığın söndüğünü bilirsiniz ama gözlemlemeye kalktığınızda ışık yanar.

Kuantum fiziği en basit şekilde mutlak doğrular yoktur, tecrübelerden edinilen doğrular vardır diyen ve olasılığı kendine yöntem edinen bir kuramdır. Atom altı parçacıkların ve gözlemlenemeyen sistemlerin davranışlarını temel kabul eder. Bir varlığı gözlerken onun mutlaka bir değişime uğradığını savunur. Objektif gözlem bile kendi içinde objektif değildir düşünçesi kurama hakimdir. Bilinç olmadan maddenin varlığını kabul etmez kuantum, yani aslında her şey soyuttur ve bir biri ile etkileşim halindedir. Kuantum fiziğinin temel prensibi evrende enerjinin süreksizliği; kuantlar halinde olmasıdır.

Kuantum fiziğinin diğer çarpıcı buluşu da birbiriyle hiç iletişim imkanı bulunmayan iki varlık arasında çok önemli korelasyonlar (bağıntı) gözlenmesidir. Bunlardan biri üzerinde yapılan bir ölçümün hemen öbürünü de etkilediği görülmüştür. Korelasyon, olasılık kuramı ve istatistikte iki veya daha fazla raslantısal değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve gücünü gösterir.

Kuantum fiziği özünde tüm maddelerin, tüm enerji akışının belli küçük ölçeklenebilir temellere ayrılmış olduğu kuramıdır. Bu arada kuantum fiziğini Max Planck'ın ortaya çıkardığı düşünülse de tek bir bilim insanının değil, birden fazla bilim insanının katkısıyla ortaya atılmış ve geliştirilmiş bir kuramdır. Planck, Einstein, Bohr, De Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Dirac ve Pauli gibi ünlü bilim insanları bu kuram üzerine çalışmış ve her biri bu çalışmalarından ötürü Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüşlerdir.

Kuantum teorisi

1905 yılında Albert Einstein'ın dalga özellikleri olan ışığın aynı zamanda daha sonra foton diye adlandırılacak olan belirli büyüklükte enerji paketlerinden oluştuğunu açıkladığı çalışmasıyla fenomen hale gelen kuantum. *Kuantum dünyasında parçacıklar dalga gibi, dalgalar da parçacıklar gibi hareket eder.* Madde uzayda hareket etmesine gerek kalmadan bir noktadan başka bir noktaya ulaşabilir. Bilgi ise mesafe ne kadar uzak olursa olsun anında hedefe aktarılır. Bu kavramlardan anlatılmak istenen parçacıklar uzayda çok uzak noktalara ışık hızında taşınabilir, karşılaştıkları cisimler ile etkileşime girebilir ve bilgi alış verişi yapabilirler. Geri dönüp geldiklerinde bilgi birikimlerinden uzayın derinlikleri analiz edilebilir. Uzayda yayılan atom parçacıklarının davranışları analiz edilerek güzergahları hakkında bilgi edinebilir miyiz?

Evrende bilinen bütün maddeler pozitif yüklü bir çekirdek ve etrafında dönen negatif yüklü elektronlardan oluşan atomlardan meydana gelmektedir (kozmetik madde, yüksek enerjili madde ve anti madde hariç). Bu nedenle, bir elementin kimyasal özelliklerini taşıyan en küçük parçasına atom denilmektedir. Atom negatif yüklü elektronlardan, pozitif yüklü protonlardan ve yüksüz nötrondan oluşur. Nötron ve protonların bulunduğu kısım çekirdek olarak adlandırılır. Elementlere ait atomların proton ve elektron sayıları birbirine eşit olduğu için atomlar nötr yapıdadır. Elektronlar çekirdekten belirli uzaklıklarda farklı katmanlarda hem kendi etraflarında hem de çekirdeğin etrafında çok hızlı hareket eder. Bu sebeple elektronlar çekirdeğe düşmezler, çekirdek tarafından çekildikleri için de dışarı fırlamazlar.

Bazı elementler güçlü çekirdek çekme kuvvetine sahiptir ve elektron kaybını reddederler, bunlara yalıtkan malzeme (hava, cam, kauçuk, çoğu plastik) denir. Bazı malzemeler ise zayıf çekiciliğe sahiptir ve elektronların kaybolmasına izin verir, bunlara iletken malzeme (bakır, gümüş, altın, alüminyum) denir. İletkenlerde elektronlar bir atomdan diğerine geçer, iletken birim zamanda geçen elektrik yükü (elektron) miktarına elektirik akımı denir. 1 amperlik akımın oluşabilmesi için iletkenin herhangi bir noktasından 1 saniyede $6,25 \times 10^{18}$ elektron geçmesi gerekir.

Ağır radyoaktif (Uranyum gibi) atomların bir nötronu yutması ile daha küçük atomlara bölünmesi (filyon) sonucu çok büyük bir miktarda ısı enerjisi açığa çıkar. Herbir parçalanma tepkimesi sonucunda açığa filyon ürünleri, enerji ve 2-3 adet de nötron çıkmaktadır. Tepkime sonucu açığa çıkan nötronlar da kullanılarak parçalanma tepkimesinin sürekliliği sağlanabilir bu sürece zincirleme tepkime denir. Bunun haricinde hafif atom çekirdeklerinin birleşme tepkimeleri de büyük bir enerjinin açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle çok yüksek sıcaklığa çıkılan sistemler kullanılmaktadır. Çok yüksek sıcaklıkta yüksek enerjiye ulaşan atom çekirdeklerinin çarpışması ile füzyon (Güneş) tepkimesi sağlanabilmektedir. Filyon ve füzyon tepkimeleri ile elde edilen enerjiye "nükleer enerji" veya "çekirdek enerjisi" adı verilmektedir.

Fotonlar sadece elektronlardan yayılmazlar. Çekirdek, dengesizleşirse fotonlar da yayar. Bu radyasyonlara X-ışınları ve gama ışınları denir. Atomların parçalanması (fizyon) ile nötronlar, atomların çarpışması (füzyon) ile protonlar açığa çıkmaktadır. Bu durumda proton, nötron ve elektronların yanı sıra atom altı parçacık olarak adlandırılan alfa ve beta parçacıkları, X ve gama ışınları da açığa çıkmaktadır.

Atomların oluşturduğu en küçük kimyasal bileşkenlere molekül denmektedir. Ayrıca çok sayıda foton adı verilen atom altı parçacıkları da bulunmaktadır;

- Bozon, mezon,
- Fermiyon, baryon, graviton,
- Kuarklar: proton, nötron,
- Nötrino'ları güneş üretmektedir.

Parçacık olarak bildiğimiz elektron, proton, nötron gibi atomun temel taşları aslında elektromanyetik dalga gibi davranır ve bir elektronun da evrenin her yerine dağılabileceği potansiyeller dalgası (foton) da vardır. Louis de Broglie, 1924'te, enerji ve maddenin oluşumunda ve davranışında temel bir farklılığın bulunmadığını ileri sürdü: Hem enerji hem de maddenin temel parçacıkları, koşullara bağlı olarak, ya parçacıklar ya da dalgalar gibi davranırlar.

Kuantum teorisi, Max Planck adında Alman fizikçinin açığa kavuşturulamamış bazı fiziksel fenomenlere açıklamalar getirmesiyle başlamıştır. O güne kadar ışığın sadece dalga olduğu düşünülüyordu. Bu düşünce tarzıyla fotoelektrik olayı gibi bazı durumlar açıklanamıyordu. Fotoelektrik olayında iletken bir levhanın üzerine uzun dalga boylu elektromanyetik ışın gönderildiğinde elektrik devresinde herhangi bir akım oluşmuyor. Üstelik gönderilen ışık miktarı artırıldığında da durum değişmiyor. Ancak, yüksek enerjili, kısa dalga boylu (yüksek frekanslı) elektromanyetik ışın olduğu zaman metal levhadan elektronlar kopmaya başlar ve devreden geçen akım ampulün yanmasını sağlar. Max Planck, fotonların elektromanyetik dalga olarak ışınmasının yanı sıra parçacık gibi de davranabileceğini belirterek kuantum mekaniğinin temellerini atmıştır. Daha sonra Einstein, Bohr, Schrödinger ve pek çok ünlü fizikçi Planck' in attığı temeller üzerine çalışmaları yaptılar ve ortaya kuantum fiziği çıktı.

Parçacık ve dalga tipi ışınmayı da iki gruba ayırmamız mümkündür. Bunlar, “**iyonlaştırıcı**” ve “**iyonlaştırıcı olmayan**” radyasyonlardır. **İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir.** O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir. Başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır. Bunlar, **Alfa ve Beta parçacıkları, X ve Gama ışınları** ve **Nötronlardır**. Nötronlar yüksüz parçacıklardır. Bu özelliklerinden dolayı herhangi bir madde içerisine kolaylıkla nüfuz edebilirler. Doğrudan bir iyonlaşmaya sebep olmazlar. Ancak atomlarla etkileşimleri, iyonlaşmaya neden olan alfa, beta parçacıklarının, gama veya X ışınlarının ortaya çıkmasına neden olabilir.

Fizikte bilinen temel kuvvetler, çekim gücü, elektromanyetik güç, güçlü atom gücü ve zayıf atom gücü olarak tanımlanıyor ve bunlar dört doğa gücü olarak anılıyor. Bunların hepsinin kendi güç taşıyıcı parçacıkları vardır. Prof Feng'in ekibi Krasznahorkay, çalışmasıyla, fizik tarihinde şimdiye kadar bu alanda yapılan tüm çalışmalarını kıyasladı ve "karanlıktan korkan güç" olarak tanımladıkları X17'nin şimdiye kadar bulunamayan "beşinci güç" olabileceği sonucuna vardı. Deneyleri sırasında elektron ve pozitronların sıra dışı bir şekilde; yaklaşık 140 dereceyle ayrıldıklarını gördüklerini belirten Krasznahorkay, "Yepyeni, daha önce kimsenin görmediği, parçacık fiziğinin Standart Modeliyle açıklanamayacak bir parçacıktan söz ediyorduk. Bu yüzden de parçacık merceği altına alındı" dedi. Fizikçiler, şimdi galaksilerin oluşumundan parçacıkların davranışlarına tüm kozmik güçleri açıklayabilecek 'birleşik alan teorisi' yaratmayı umuyor. Ama evren, sırlarını kolay vermiyor. Feng, 'Beşinci güç son güç olmayacak. Altıncı, yedinci, sekizinci güç de olabilir' diyor.

Foton

Foton, elektromanyetik alanın kuantumu, ışığın temel "birimi" ve tüm elektromanyetik ışınların kalıbı olan temel parçacıktır. Foton ayrıca elektromanyetik kuvvetin kuvvet taşıyıcısıdır. Işık kuantumu olarak da adlandırılan foton, elektromanyetik ışımayı taşıyan minik enerji parçacıklarıdır.

1900 yılında Alman fizikçi Max Planck(1858-1947) ışığın kuantum adını verdiği küçük enerji paketlerinden oluştuğunu ortaya koymuştu. Alman fizikçi Max Planck, ısı radyasyonunun farklı birimlerde ya da kuantlarda yayıldığını ve absorbe edildiğini açıklamıştı. Ardından 1905 yılında Albert Einstein (1879 – 1955) fotoelektrik olayını incelediği sırada ışımının doğasının kuantize olduğunu önerdi. Böylece Max Planck'ın kuantum fikrini kullanarak kuantum adı verilen enerji paketleri ile enerjinin aktarıldığını ortaya koydu. 1923 yılında, ABD fizikçisi Arthur H. Compton, X-ışınlarının kuantum doğasını gösterdi. 1926 yılında kuantum ya da enerji paketleri Amerikalı kimyager Gilbert Lewis (1875 – 1946) tarafından foton olarak adlandırıldı.

Foton bir ışık dalgasında mümkün olan en küçük enerji parçacığdır. Ancak buradaki dalga ifadesi fotonun gözlenebilir bazı özelliklerini dalga denklemleri ile açıklayabiliyor, diğer gözlenebilir özellikleri ise fotonun parçacık da sahip olmasını sağlıyor. Bu dalga – parçacık ifadeleri de fotonun fiziksel uygulamalarında oldukça kullanışlıdır, fakat yeterli değildir. Çünkü foton hem parçacıktır hem de bir dalgadır.

1926 yılına kadar kullanılmayan foton (Yunanca phōs, phōtos, "ışık") terimi parçacık fiziğinde, bozonlar Bose-Einstein yoğunlaşmasına uyan parçacıklardır; Satyendra Nath Bose ve Einstein'a atfen isimlendirilmişlerdir. Bozonlara bazen kuvvet parçacıkları da denir; çünkü bozonlar elektromanyetizma ve muhtemelen kütle çekim gibi temel fiziksel kuvvetlerin

etkileşimlerinden sorumludurlar. Parçacık olarak adlandırılan fotonlar tüm elektromanyetik enerjiyi taşırlar ve elektromanyetik etkileşimleri taşıyan bir ayar bozonu olarak hareket ederler. Gluonlar, kuarkları bir araya getirerek proton ve nötronları oluşturan ve protonlarla nötronları da atomun çekirdeğinde bir arada tutan güçlü nükleer kuvvetin etkileşimlerini yönetirler.

Relativite (izafiyet) teorisine göre, bir parçacığın ışık hızında gidebilmesi için kütlesinin sıfıra eşit olması gerekiyordu! Demek ki ışığın enerjisi sadece kinetik enerjidir; kütlesinden kaynaklanan hiçbir enerjisi yoktu. Einstein o güne dek açıklanamamış olan fotoelektrik olayını bu kavramla açıkladıktan sonra, bilim adamlarının ağzında yeniden 'ışık nedir?' sorusu gündeme gelmişti. Eğer ışık dediğimiz olgu parçacıklardan oluşuyorsa, frekans veya dalgaboyunun ne anlamı var acaba? Aslında sorulması gereken en iyi soru: "ışık gerçekten nedir?" Cevap: 'Hem dalga, hem parçacık. Işığın bazı özellikleri sadece dalga olgusu (mantığı) ile açıklanırken (girişim veya kırınım gibi), bazı özellikleri ise sadece foton ile açıklanabiliyor (Fotoelektrik olay veya atomların enerji soğurması ve salması gibi).

Fotonlar kuantum nesnelere olmasına rağmen, ışık hala Maxwell'in klasik teorisi tarafından açıklanıyor. Foton modeli, ikili bir yapıya sahip olduğu için kritik olarak Maxwell denklemleriyle tutarlı değildir. Aslında bir dalga olarak Maxwell tarafından iyi tanımlanmıştır. Maxwell denklemleri Planck'ın sabitini içermez ve dolayısıyla fotonun parçacık yapısını tanımlamaz. **Maxwell denklemleri bu eksik elemanı içermelidir (!).**

Kuantumun elektrodinamiği, elektronların ve fotonların momentum değiştirdiği minimal bağlantı fikri ile açıklanır. Foton yüklü parçacıkları elektronlarla etkileşime giren bir aracı olarak görünür. Modern parçacık fiziği teorisinde foton, elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı olarak hareket eden integral dönüşlü (spin) bir parçacık olan bir boson olarak tanımlanmaktadır. **Tüm fotonlar ışık hızında hareket eder. Atom altı parçacıklar arasında göz önüne alındığında, fotonlar, elektrik yükü ya da durgun kütlesi olmayan ve bir birim spin olan bosonlardır. "Foton nedir?" sorusuna cevap ararken, durgun kütlesi sıfırdır; ışık hızıyla gider; etkileşimlere parçacık olarak girebilir ancak dalga olarak yayılır.**

Kuantum terimi, bir miktarın en küçük temel birimi veya bir şeyin en küçük ayrık miktarıdır. Bir foton hem dalga benzeri hem de parçacık benzeri özelliklere sahiptir, fakat kuantum değildir. Kuantum, bir nicelik (miktar) ölçüsü olarak tanımlanabilir, ancak bir foton, nicelik (miktar) ölçüsü ile ilgili değildir. Bir foton kuantum enerji olarak tanımlanabilir. Fizikte, bir foton bir elektromanyetik enerji demetidir. Tüm ışığı oluşturan temel birimdir. Foton bazen elektromanyetik enerjinin bir "kuantumu" olarak adlandırılır. Fotonların daha küçük parçacıklardan oluştuğu düşünülmemektedir.

Madde içerisinden geçerken, bir veya daha fazla foton, nükleer partiküller veya atomlar tarafından absorbe edilebilir ve temel olarak yok edilebilir.

Fotonlar, elektromanyetik alanın kuvvetidir ve zamanla değişen elektrik ve manyetik alana sahip hareketli dalgalardır.

Fotonlar nötr yüklü, elektromanyetik ışımıyı oluşturan kütsüz parçacıklardır. Elektronlar negatif olarak yüklenir, genellikle atomların çekirdeği etrafında kaynaşan parçacıklar olarak bulunurlar. Işık hızına ivmenin sonsuz enerji harcadığını söylerseniz, evet bu doğrudur. Devasa bir parçacığı ışık hızına çıkarmak için gereken enerji sonsuzdur, evet. Fotonlar kütsüzdür, bu yüzden ne kadar enerji harcadığınıza bakmaksızın ışık hızında hareket ederler.

Yüksek bir yörüngede bulunan bir elektron, normal yörüngesine döndüğünde elektron çok özel özelliklere sahip bir foton (bir enerji parçacığı) yayar. Foton kütsüz bir parçacıktır. Teoriye göre enerjisine ve momentumuna sahiptir, ancak kütsesi yoktur ve bu kesin sınırlar dahilinde yapılan deneylerle doğrulur.

Yüksek enerjili gama ve X ışınlarından, görünür ışıktan, düşük enerjili kızılötesi ve radyo dalgalarına kadar tüm elektromanyetik dalgaların foton enerjileri vardır. Bir nükleer ve kozmik EM radyasyon şekli olan gama ışınları, EM spektrumunda en yüksek frekanslara ve dolayısıyla en yüksek foton enerjilerine sahip olabilir. **Bir fotonun enerjisi radyasyon frekansına bağlıdır (1),**

$$E = h \times f \quad (1)$$

bağıntılara uyar. Burada,

E : enerji miktarı, birimi joule dur.

f: frekans

$h = 6.6 \times 10^{-23}$ j/s, Planck sabitidir.

Örneğin,

$f = 10^{21}$ Hz olan bir γ -ışını foton enerjisi nedir.

$E = 6.626 \times 10^{-13}$ Joule = 6.626×10^{-13} Watt-sec

$E = 4.14 \times 10^6$ eV = 4.14 MeV. (1 eV = $1.6 \cdot 10^{-19}$ Joule)

Boş uzayda, foton ışık hızında hareket eder ve onun enerjisi ve momentisi $E = pc$ ile bağıntılıdır, p momentum vektörünün büyüklüğüdür. Bu $m = 0$ ile relativistik bağıntı izlenerek türetilir. Kuantum alan teorisinde, fotonun momentumu dalga boyu λ ve yayılma yönünü belirleyen dalga vektörü ile tanımlanır. Işık hızında ilerleyen bir parçacığın momentumu:

$$P = mc \text{ dir.}$$

Bir parçacığın enerjisi (Einstein formülü):

$$E = mc^2$$

Bir fotonun enerjisi (Planck formülü):

$$E = hf$$

Foton da bir parçacık olduğu için

$$mc^2 = hf$$

$$m = \frac{hf}{c^2}$$

$$p = \frac{hf}{c}$$

O halde; fotonun momentumu

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

Burada,

h: Planck sabiti=6.63 x 10⁻³⁴ J.s

$\lambda = \frac{c}{f}$: parçacığın dalga boyu, metre birimindedir.

C: ışık hızı=310⁸ m/sec dir.

k dalga vektörüdür, k dalga sayısı olduğunda

$$k = |k| = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$\omega = 2\pi\nu$ açısal frekansdır.

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ indirgenmiş Planck sabitidir.

Fotonun yayılma yönünde momentumun büyüklüğü için:

$$p = \hbar k = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Spin, içsel açısal momentumdur ve yarı tamsayı hbar birimlerinde (tümü açısal momentumda olduğu gibi) nicelenir. Fotonlar, spin 1/2 olan elektronların aksine spin-1

parçacıklarıdır. Foton enerji ve momentumun yanı sıra spin açısal momentumun da taşıyıcısıdır, fotonun frekansına bağlı değildir bu nicelik diğerlerinden farklı olarak, fotonun spin büyüklüğü $\sqrt{2}\hbar$ 'dır ve fotonun hareketi boyunca ölçülen bileşen olan sarmallığı (helicity) $\pm\hbar$ olmalıdır. Bu iki olası sarmallıklar, sağ ve sol fotonun iki olası dairesel kutuplanmasına karşılık gelir.

Elektromanyetik radyasyonun enerji ve momentum için klasik formülleri foton olayları açısından yeniden ifade edilebilir. Örneğin, bir cisim üzerine elektromanyetik radyasyonun basıncı cismin birim alan ve birim zaman başına foton momentumunun aktarılmasından türetilir, çünkü basınç birim alan başına olan kuvvettir ve kuvvet ise birim zaman başına momentumdaki değişimdir.

Özet olarak ışığın foton teorisine göre, fotonlar

- Boş uzayda ışık hızında hareket ederler.
- Sıfır durgun kütle ve durgun enerjiye sahiptirler. Durağan halde foton bulunmaz.
- Fotonlar $E = h\nu$ ve $p = \frac{h}{\lambda}$ olmak üzere elektromanyetik dalganın dalga boyu ve frekansı ile bağlantılı olan enerji ve momentum taşırlar.
- Işıma absorbe edildiğinde ve yayıldığında oluşurlar ya da yok olurlar.
- Compton etkileşimi olarak bilinen bir etkileşim içinde elektron diğer parçacıklarla parçacık gibi etkileşirler. (Çarpışmalar vb.) Compton efektinde, parçacıkların değişimi ile saçılan ışığın rengi değişir yani frekansını değiştirir.
- Foton temel bir parçacık olduğundan başka bir temel parçacığa bozunamaz.

Fotonlar çok sayıda doğal süreç sonucunda yayılırlar. Örneğin, bir yük ivmelendirildiğinde senktron (yüklü parçacıkların radyal olarak ivmelenmesi sonucu) ışınması yayar. Diğer bir süreç ise daha düşük bir enerji seviyesine bir molekül, atomik veya nükleer geçiş sırasında, kızılötesinden gama ışınlarına dek değişik enerji fotonların yayımlanmasıdır. Bir parçacık ve onun karşılığı olan bir antiparçacık karşılaşır yok olduğunda da (örneğin, elektron-pozitron yok olması) foton yayılabilir.

Kuantum Radarı

Einstein elektromanyetik yayınına foton olarak adlandırmış ve E enerjisine sahip olduğunu öne sürmüştür ($E=hf$). Elektronların iletken metal içinde bulunmalarını çekim kuvvetleri sağlar. Eğer fotonların enerji değerleri elektronları metale bağlayan enerjiye eşit ise elektron metalden kopabilir. Metal yüzeyine daha yüksek frekansda elektromanyetik dalga gönderilirse elektronların kopmalarının yanı sıra bir miktar kinetik enerjiye de sahip olurlar.

Kuantum fiziğine göre atom altı parçacıklar (elektronlar, fotonlar) yapı itibarıyla birbirlerinin kopyalarıdır. Bu parçacıkları birbirinden ayıran özellikler buldukları konum ve hızlarıdır. Parçacıkların bu özelliği kuantum fiziğinde **tutsaklık denilen birbirlerine dolanma fenomine** yol açar.

Bir elektronu alır ve bu elektrondan foton üretirseniz boşlukta elektromanyetik dalganın kuvvet taşıyıcısı olur. Alt yörüngeye geçen elektronu dış etkenlerden tümüyle yalıtırsanız yalnızca birbiriyle etkileşim içinde oldukları için kuantum fiziği açısından bulanık bir durum ortaya çıkar, yani spinleri hem yukarı hem de aşağı durumdadır. Bu iki parçacığı birbirinden ayırıp birini milyonlarca kilometre uzağa gönderdiğinizde, bunlardan biri yukarı spinde ise, diğerinin aşağı spinde olduğundan emin olabilirsiniz. Kuantum dolanıklık ya da tutsaklık fenomenine göre, tutsak olan yani birbirleriyle etkileşimde olan bu parçacıklar birbirlerinden çok uzakta olsalar bile aralarında oluşan bilgi akışı değişmez. Kuantum radar, aralarındaki ilişkinin bilindiği iki parçacığın dolanıklığı analiz edilere boşlukta ilerleyen hatta yansarak geri dönen parçacığın değişimlerini tutsak tuttuğunuz parçacığı gözlemeyerek gözlemleyebilirsiniz. Kuantum aydınlatma yöntemiyle denilen kuantum radarı ile uzaktaki nesnelere ya da gömülü cisimler hakkında bilgi edinilebilir.

Kuantum radarı, parçacıkların dolanıklıklığı özelliğinden dolayı boşlukta ilerleyen parçacık olan foton kayıplı ve gürültülü bir ortam tarafından tahrip edildiğinde bile, kalıntı korelasyon verilerini kullanabilen bir yöntemdir. Kuantum radarının temel amacı hedef tespittir. Burada göndericide elektromanyetik sinyal ve rölantide bekleyen (tutsak) olarak adlandırılan ikili sistem hazırlanır. Sinyal gönderilirken, rölantide bekleyen parçacık, parlak arka plan gürültüsünün olduğu bir bölgede düşük yansıtıcı bir nesnenin varlığını araştırmak için tutulur. Sonrasında, nesneden gelen yansıma rölantide bekleyen parçacık ile ortak bir kuantum ölçümünde birleştirilir: mevcut nesne veya mevcut olmayan nesne. Bu işlem birçok kez tekrarlanır, böylece tam bir kuantum tespiti için alıcıda çok sayıda sinyal-rölanti sistem çifti toplanır. Rölanti sistem ile yansıyan sinyal sistemi arasındaki tutsaklık işlemi süreçte tamamen kaybolabilir. Ancak, bu iki sistem arasındaki kalıntı kuantum korelasyonları o kadar güçlüdür ki sadece başlangıç sinyal-rölanti sisteminin tutsaklığı ile yaratılabilirler. Yansıtılan sinyal, tutulan rölanti sistemi ile kuantum korelasyonlu olduğu için, detektör tarafından alınan tüm diğer ilişkisiz arka plan termal fotonlar arasında bile ayırt edilebilir. Sistemlerin bu kuantum etkilemesi nedeniyle, kuantum aydınlatmasının tespiti çok etkilidir.

İşte kuantum radarı tutsak elektronlar üzerinde bu yöntemle çalışılarak nesnelere tespit edebilmektedir.

İki ayrı parçacığa A fotonu ve B parçacığı diyelim. Radar A fotonlarını mikrodalga ışınıyla havaya gönderir. B elektronları ise foton olarak ise sistemde tutsak edilir. A ve B fotonları birbirleriyle etkileşiminden dolayı aralarında bilgi akışı vardır. Bu sayede A fotonlarında meydana gelen değişiklikler, radar sisteminde beklenen B fotonlarına bakılarak gözlemlenebilir. Yoğun arka plan gürültüsü veya sinyal karıştırma gibi engeller bile A ve B fotonları arasındaki kuantum korelasyonlarını yok edemez. Bu kuantum etkilemesi sayesinde radar sistemi B fotonlarına bakarak A fotonlarının ne tür değişikliklere uğradığını gözlemleyebilir ve nesnelere varlığı, konumları ve kimliğiyle ilgili tespitlerde bulunabilir.

Kuantum radarı yoğun arka plan gürültüsü olduğu durumlarda bile radar sistemi kendi sinyalini seçebilecektir. Bu da, hayalet uçakları tespit etmesini ve kasıtlı karıştırma (jamming) girişimlerini filtrelemesini sağlayacaktır. Kuantum radar ilginç bazı yeni özellikler de getirebilir. Birincisi, ışınlanmış parçacıklar temas ettikleri yüzeylerle etkileşime girdikleri için hedefin materyalini ve diğer özellikleri tespit edebilirler. Bu sayede radarda çok daha detaylı bir görüntü elde edilebilir. Örneğin bir sahte hedef veya tuzak ile gerçek bir savaş uçağı veya balistik füze ayırt edilebilir. Hatta bu hedeflerin nükleer yük taşıyıp taşımadığı bile belirlenebilir. Bunun önümüzdeki dönemde füze savunma politikalarının belirlenmesi üzerinde önemli bir etkisi olabilir.

Baugh'un makinesi kuantum tutsaklık adı verilen bir fizik ilkesine göre foton çiftleri üretiyor. Fotonlardan birinde meydana gelen değişiklik arada çok büyük mesafeler olsa da anında hemen diğer fotona da yansıyor. Kuantum aydınlatma olarak adlandırılan bu süreçte, **fotonlar kullanılarak nesnelere izlemek, aslında akıllıca bir kavramdır. Bilinen evrendeki hiçbir şey, tutsak bir sistemde gerçek zamanlı olarak bilgi ileten ışık fotonlarından daha hızlı seyahat edemez.**

Yeni radar cinsi, kanser hücreleri veya gizli kabiliyetine sahip uçaklar gibi düşük yansıtıcılığa sahip nesnelere tespit etmek için mikrodalga ve optik ışınlar arasında kuantum korelasyonu kullanan bir hibrid sistemdir. Kuantum radar, geleneksel sistemlerden çok daha düşük enerjilerde çalıştığından, NMR taramaları dahil olmak üzere biyomedikalde bir dizi uygulama için uzun vadeli bir potansiyele sahiptir. Cihaz, mikrodalga-optik dolaşma yaratabilir (sinyal yayımı sırasında) veya bir mikrodalga fırını optik ışınlarla (nesneden yansıma ışınlarının toplanması sırasında) dönüştürebilir.

Kuantum radarların başka bir yararı: çok az enerji yayarlar ve bu nedenle tespit edilmesi zordur. Bütün çağdaş radarlar nesnelere tespit etmek için elektromanyetik radyasyon yayar. Bu radyasyon radarın kendisini tespit etmesini sağlar. Karanlık bir odada el feneri tutan bir

sürü insan olması gibi bir şey: el fenerinizi açmak diğer insanları bulmanızı sağlar ancak el feneri ışını doğrudan size geri dönerek varlığını ve konumunuzu ortadan kaldırır.

Tespit edilemezlik eksikliği, savaşta belirgin bir taktiksel avantaj sunar. Dost bir kuantum radar, bir düşman uçağının uçuşunu kendi varlığını açıklamadan tespit edebilir. Bu, düşman savaş uçaklarının, savunuculara farkedilebilen yerel radarları ve radyo sinyallerini savunmadan sıkışmalarına neden olabilir. Korucuları, daha sonra dost hava savunma füzeleri ve onları bekleyen savaşçılar tarafından pusuya düştüler.

Teorik olarak, iki karışık durum arasındaki özel ilişki, mesafenin ne kadar uzakta olduğu önemli değil. Bunlardan biri manipüle edildiğinde, diğeri hemen karşılık gelen duruma geçecektir. Dolaşan tanecikler üzerinde yapılan pozisyon, momentum, spin, polarizasyon gibi fiziksel özelliklerin ölçümlerinin uygun şekilde ilişkili olduğu bulunmuştur. Örneğin, toplam spinlerinin sıfır olduğu bilinen bir şekilde bir çift partikül üretilirse ve bir partikülün belirli bir eksen üzerinde saat yönünde dönüşü sahip olduğu bulunursa, o zaman diğeri partikülün dönüşü aynı ölçüldüğünde ölçülür. Eksen, kuantum ölçümünün yapısından dolayı saatin tersi yönünde bulunur. Bununla birlikte, bu davranış paradoksal etkilere yol açmaktadır: herhangi bir partikül özelliğinin herhangi bir ölçümü, o partikül üzerinde etkili olarak görülebilir (örneğin, üst üste binmiş bir durumun çökmesiyle); ve dolaşmış tanecikler söz konusu olduğunda, bu tür bir işlem dolaşmış sistemde bir bütün olarak yapılmalıdır.

Dolanıklık

Heisenberg'in Belirsizlik İlkesine göre, bir parçacığın momentumu ve konumu aynı anda tam doğrulukla ölçülemez (momentum değişimi = kütle değişimi x hız değişimi). Bir parçacığın konumu ne kadar doğru ölçülürse (yani konumunun belirsizliği ne denli küçük olursa), momentumunun belirsizliği de o kadar büyük olur. Heisenberg ayrıca belirli sistemlerin ölçümlerinin, sistemleri etkilemeden, yani sistemdeki bir şeyi değiştirmeden yapılamayacağını belirtti. Fizikte "Gözlemci Etkisi" olarak bilinen ilkeyi kuantum seviyesinde kullanarak kuantum belirsizliğinin "fiziksel bir açıklamasını" da yapmıştır. Yani parçacıklara ışık tutularak bakılması bile onların konumlarını ve hızlarını değiştirebilir. Bu nedenle öncelikle dış etkenlerden tamamiyle yalıtılmış bir ortamın varlığı gerekir.

Dolanıklık denen tutsak parçanın ileri - geri hakeketi ile ondan uzaklardaki foton parçacığı arasında var olan ilişkiye, ölçüm metotlarının olumsuz etkisi, olasılık fonksiyonları yardımıyla kestirimsel hesaplanabilmektedir. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarındaki doğruluk katsayılarının belirlenmesi iki parçacık arasındaki ilişkinin yanı sıra gidip yansıyan gelen (kedi gözü) bilginin (Yansıtıcı cismin kuantum artıklarının) belirlenmesini sağlayabilmektedir.

Yol kenarlarındaki kedigözlerini (yansıtıcı lensler) bilirsiniz, gecenin karanlığında otomobil farlarının ışığını toplayarak güçlü bir şekilde geri yansıtır ve siz yol kenarında kırmızı, sarı, beyaz parlaklıklar görür ve güvenli bir şekilde yolunuza devam edersiniz. Kuantum radarları da benzer biçimde çok gürültülü bölgelerden gelen küçük sinyal yansımalarının analizinde duyarlılık artırır.

Kuantum dolanıklık; iki veya daha fazla sayıdaki atomaltı taneciğin birbirlerinden uzakta olmasına bağlı olmaksızın birbirleriyle eşzamanlı olarak etkileşebileceğini başka bir deyişle haberleşebileceğini ifade eder. Kuantum dolanıklık durumunda paçacıklar arasında klasik olmayan (yani kuantum teorisi ile açıklanmaya muhtaç) korelasyonlar vardır. Bu korelasyonlar (yani etkileşimler sayesinde) klasik süreçlerde olmayan amaçları gerçekleştirmek için kullanılacak kontrol edilebilir kaynaklar oluştururlar. Kuantum dolanıklık kavramının ortaya çıkmasına öncülük eden çalışma Einstein-Podolsky-Rosen 1935 makalesidir. Mesela iki farklı sistemden oluşmuş bir bileşik sistemin sahip olduğu kuantum durumlarında, alt sistemlerin durumları arasında korelasyon varsa iki sistemin dolanıktır.

Dolanık durumlar daha çok elektronlar ve fotonlarla elde edilmeleri yanında atomlar, çekirdekler ve diğer iyonlar için de geçerlidir.

Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi

Bir fiziksel sistemin durumunu açıklamak için konumunun, hızının, ivmesinin, yönünün ve ona etkiyen ya da ondan etkilenen kuvvetlerin bilinmesi gerekir. Bilgiler sayısaldır ve başlangıç koşulları önemlidir. Bir dinamik sistemin şu anki durumu biliniyor ise, sonraki ya da önceki bir zamandaki durumu da bilinmek istenir. Eğer denklem sistemi bir hareketi temsil ediyorsa, tanımlanan fonksiyon o hareketin yörüngesidir. Farklı başlangıç noktaları farklı fonksiyonlar seçer; yani farklı başlangıç noktaları hareketler için farklı yörüngeler belirler. Bu olgunun, kelebek etkisiyle yakın ilişkisi vardır.

Determinizm, evrenin veya evrendeki olayların ya da bir bilimsel disiplinin alanına giren tüm nesne ve olayların önceden belirlenmiş olduğu, onların öyle olmalarını zorunlu kılan birtakım yasa veya güçlerin etkisiyle meydana geldiklerini ileri süren öğretiye verilen addır. Determinizm, bir fiziksel sistemin şimdiki durumu, önceki durumunun sonucudur der. Bu cümleye bakarak her olay ve hareketi önceden belirlemek mümkündür varsayımında bulunuruz. Determinizmin klasik öğretisini, XVIII. yüzyılda Pierre-Simon Laplace ortaya koymuştur. Laplace'a göre, evrenin bugünkü durumu, önceki durumunun bir sonucu ve bundan sonraki durumunun ise bir nedenidir. Klasik fizikçi açısından, Halley kuyruklu yıldızının 2061 yılında yeniden dünyayı ziyaret edeceğini kesinlikle öngörebilmek ya da gelecek güneş tutulmasının ne zaman olacağını ve dünyanın neresinden en iyi görüneceğini şimdiden şaşmaz biçimde hesaplayabilmek, determinizmin yadsınamaz zaferidir.

Determinizmin uygulanabilmesi için, sistemin analitik çözümüne ve iyi belirlenmiş başlangıç koşullarına gereksinim vardır. Çok kolaymış gibi görünen bu iş, gerçekte pek çok sistem için imkansızdır. Bu imkansızlık kaos diye anılan fenomenleri yaratır.

Bir uyduyu Dünya çevresine yerleştirmek istesek, istediğimiz uzaklıktaki bir yörüngeye yerleştirebiliriz. Klasik fizik yasaları, bize kesin öngörme olanakları verir. Örneğin bir roketin ateşlendikten sonra izleyeceği rotayı, bir süre sonra varacağı noktayı kesin olarak hesaplayabiliriz. Roketin hızını ve rotasını etkileyebilecek değişkenleri daha duyarlı ölçersek hesaplarımız daha doğru olur. Gerçekte erişebileceğimiz doğruluğun sınırı yoktur. Klasik fizikte hiçbir şey şansa bırakılmaz, fiziksel davranışlar önceden tahmin edilebilir. Oysa modern fizikte fiziksel davranışlar, olasılıklar açısından öngörülebilir.

Laplace'ın önerdiğine göre, öyle bir bilimsel yasalar takımı olmalıydı ki, yalnızca bir an için evrenin tümünün durumunu bilirsek evrende olup bitecek her şeyi hesaplayabilirdik, örneğin, güneşin ve gezegenlerin bir andaki hızlarını ve konumlarını biliyorsak, Güneş sisteminin başka zamanlardaki durumunu Newton'ın yasalarını kullanarak hesaplayabilirdik. Bu bağlamda belirlenirlik oldukça açık gözüküyor ama Laplace bununla kalmayıp insan davranışları da içinde olmak üzere her şeye hükmeden benzeri yasaların var olduğunu ileri sürdü.

Belirsizlik ilkesi 1927 yılında Werner Heisenberg tarafından öne sürüldü. Kuantum fiziğinde Heisenberg'in Belirsizlik ilkesine göre, bir parçacığın momentumu ve konumu aynı anda tam doğrulukla ölçülemez (momentum değişimi = kütle değişimi x hız değişimi). Belirsizlik ilkesini daha da genellenmiş olarak anlatmak istersek şunları söyleyebiliriz. Kökleşik (klasik, deterministik) fizikten ayrı olarak Kuantum fiziğinde her fiziksel niceliğe denk gelen bir reel sayı değil, bir işlemci vardır. Bu işlemciler, kökleşik mekanikten ayrı olarak sayısal değerler ile değil matrisler ile temsil edilir. Dolayısıyla, kuantum mekaniğinde ölçülen fiziksel niceliğin ölçüm sırası önemlidir. Herhangi iki fiziksel niceliği (örneğin: konum ve momentum) ele alalım. Eğer bu fiziksel niceliklere denk gelen iki işlemci yer değiştiremiyorsa bu iki niceliğin aynı anda ölçülmesi olanaksızdır. Bu durumda kesin sonuçlardan değil, bir ortalama değer yakınlarında dalgalanan değerlerden söz edebiliriz

Bir elektronun yerini tespit edebilmek için dalga boyu kısa olan ışınlar ihtiyaç vardır. Bu ışınlar da enerji parçacıklarından (fotonlardan) ibaret olduğundan, elektrona çarparak onun yerini değiştirirler (Compton Olayı). Elektrona çarparak onu etkilememesi için fotonları çok küçük ve dalga boyu uzun olan ışınların kullanılması gerekir. Bu suretle elektronun hareketinde önemli bir değişme olmayacaktır. Fakat uzun dalgalı ışınlar kuvvetli bir görüntü sağlamadığından, ancak çok belirsiz bir görüntü elde edilir. Şu halde, bir elemanın yerini tespit etmek mümkün değildir. Genel ifadeyle; birbirine bağlı iki büyüklük aynı anda, yüksek duyarlılıkla ölçülemez (birinin ölçülmesindeki duyarlılık arttıkça diğerinin ölçülmesindeki duyarlılık azalır). Enerji-zaman, açısal konum-açısal momentum, konum- momentum bu

fiziksel büyüklükler olup, bu iki büyüklüğün ölçüm hatalarının çarpımı Planck sabitine büyük eşittir. Genel olarak, tanecik mekaniği bir gözlem için tek ve kesin bir sonuç öngörmez. Bunun yerine, birtakım olası sonuçlar öngörür ve her birinin ne kadar olası olduğunu söyler. Tanecik mekaniği böylece bilime kaçınılmaz bir bilinemezlik ya da gelişigüzellik ögesi sokmaktadır.

1920'lerde Niels Bohr ve Werner Heisenberg, atomlardan daha küçük (atomaltı) taneciklerin davranışlarının ne dereceye kadar belirlenebileceğini görebilmek için düşünsel (hipotetik) deneyler tasarladılar. Bunun için taneciğin konumu ve momentumu gibi iki değişkenin ölçülmesi gerekiyordu. Tanecik ya da parçacık şu anda nerededir? Kütle ve hız çarpımı nedir? Onların eriştiği sonuca göre ölçümde daima bir belirsizlik olmalıydı ve bu belirsizliklerin çarpımı Planck sabitinin 4π 'ye bölümüne eşit veya ondan daha büyük bir sabit oluyordu. Heisenberg belirsizlik ilkesi diye anılan bu ilkeye göre: bir taneciğini konumu ve momentumu aynı anda tam bir duyarlılıkla ölçülemez. Örneğin bir taneciğin konumunu kesin şekilde belirleyecek bir deney tasarlasak, onun momentumunu duyarlı şekilde ölçemeyiz; momentum belirlenebiliyorsa bu kez de taneciğin konumunu belirleyemeyiz. Basit bir deyişle, eğer bir taneciğin nerede olduğunu kesin olarak biliyorsak, aynı anda taneciğini nereden geldiğini veya nereye gittiğini kesin şekilde bilemeyiz. Benzer şekilde bir taneciğini nasıl hareket ettiğini biliyorsak onun nerede olduğunu belirleyemeyiz. Bir parçacığın momentumunun ya da konumunun ayrı ayrı belirlenmesinde bir sınır yoktur. Ancak momentum ve konum aynı anda yani aynı dalga fonksiyonu için belirlenmesinde temel bir sınır vardır. Atomaltı dünyada nesnelere, daima belirsizliklere neden olmalıydı. Neden böyle olması gerekiyordu?

Hidrojen atomundaki elektronu "görmek" ve hareketlerini "izlemek" istiyoruz. Bir mikroskop kullanmak zorundayız. Mikroskopta görmek istediğiniz en küçük taneciği görebilmek için tanecik boyutu ile ışığın boyutu aynı olmak zorunda. Görünür ışıktan yararlandığımız normal bir mikroskopta görülebilecek en küçük boyut yaklaşık 1000 nm dir. Bir elektron mikroskobunun çözünüme gücü ise yaklaşık 1 nm dir. Elektronu görünür ışıkla göremeyiz. Çünkü görünür ışığı, hidrojen atomuna gönderdiğimizde elektron, atomdan kopup gider; yani görünür ışık hidrojen atomunu iyonlaştırır. Yapabileceğimiz tek şey var: Dalga boyu daha küçük ışık seçmek. Durum yine değişmiyor. Çünkü elektrona çarpan fotonlar, elektronunun atom içindeki "konumunu" ve "hızı"nı değiştiriyor. Ve biz elektronu asla atomdaki gerçek konumunda göremiyoruz. Ayrıca elektrona çarpan foton, elektronun hızını ve buna bağlı olarak momentumunu (kütle ile hızın çarpımını) değiştirir. Biz bu değişmiş olan nicelikle karşılaşırız.

"Heisenberg' in belirsizlik ilkesi, bir sistemin durumunun tam olarak ölçülemeyeceğini, bu yüzden onun gelecekte tam olarak ne yapacağı konusunda kestirimde bulunulamayacağını göstermiştir. Tüm yapılabilecek şey, farklı sonuçların olasılıkları hakkında kestirimde bulunmaktır. Einstein' i o kadar huzursuz eden şey, işte bu şans ya da rasgelelik unsuru idi.

Albert Einstein, fiziksel yasaların, gelecekte ne olacağına ilişkin belirli, muğlak (belirsiz) olamayan bir kestirimde bulunulmasına inanmayı reddetti. Fakat, nasıl ifade edilirse edilsin, kuantum olayı ve belirsizlik ilkesinin kaçınılmaz oldukları ve fiziğin her dalında onlarla karşılaşıldığı konusunda her tür kanıt vardır." Foto elektrik olayın tam sonuçları, 1925 de Werner Heisenberg' in açıklamasıyla anlaşıldı. Foto elektrik olay, bir parçacığın konumunu tam olarak ölçme olanağı tanıyordu.

Örneğin bir şeyin hareketinin onun ağırlığını etkilemeyeceğine inanılıyordu. Eğer bir topacı döndürür ve tartarsanız ve sonra onu durdurduğunuzda tartarsanız, aynı ağırlıkta olduğunu görürsünüz. Bu bir gözlemin sonucudur. fakat bir şeyi, ondalık basamakların çok küçük bölümlerinde, milyarda bir bölümlerinde tartamazsınız. Biz şimdi biliyoruz ki, dönmekte olan bir topaç, durmakta olan bir topaçtan milyarlardan küçük birkaç bölüm kadar daha ağır gelmektedir. Eğer topaç, saniyede 186.000 mile yakın bir hızda döndürebilirse, ancak o zaman topacın ağırlığındaki artış fark edilebilir duruma gelebilecektir. İlk deneylerde topaç saniyede 186.000 milden aşağıdaki hızlarla çevrilmişti. O durumda dönen topacın kütlesiyle dönmeyen topacın ki tam olarak aynı görünüyordu. Ve birisi, kütlenin asla değişmeyeceği tahmininde bulunmuştu. Her bilimsel yasa, her bilimsel ilke, bir gözlemden elde edilen sonuçların her ifadesi, detayları dışta bırakan bir tür özettir. Çünkü hiçbir şey tüm ayrıntılarıyla ifade edilemez. Topaç örneğindeki adam, sadece yasayı şu şekilde ifade etmesi gerektiğini unutmuştu; "Bir cismin kütlesi, cismin hızı çok yüksek düzeylere çıkmadıkça fazla değişmez."

Öte yandan dönmekte olan bir topacın kütlesi üzerindeki bu etki çok küçüktür ve bu nedenle de "Oh, bu etki herhangi bir farklılık yaratmıyor" diyebilirsiniz. Fakat doğru olan ya da en azından ardışık süzgeçlerden geçmeyi sürdüren ve çok daha fazla gözlemlerle geçerliliğini devam ettiren bir yasa formüle etmek, büyük bir zekayı, imajinasyonu ve felsefemizin, uzay ve zaman anlayışımızın eksiksiz bir şekilde yenileşmesini gerektirir. Ben rölativite teorisine atıfta bulunacağım. Rölativite teorisi, ortaya çıkan zayıf etkilerin, daima çok devrimci düşünce modifikasyonlarını gerektirdiğini göstermiştir.

Henri Poincaré 1900 yılında, güneş sisteminin hareketini belirleyen denklem sisteminin çözümünün başlangıç koşullarına hassas bağımlı olduğunu, başlangıç koşullarının asla doğru olarak saptanamayacağını, dolayısıyla güneş sisteminin kararlı olup olmadığının belirlenemeyeceğini gösterdi. Bu öngörülemez durum için "kaos" terimini kullanan ilk kişi de odur.

Fizikçilerin kaos terimine yükledikleri anlam: Başlangıç koşullarına hassas bağımlılık. Bunu ifade eden güzel bir deyim vardır: "Çin'de bir kelebek kanat çırparsa Teksas da kasırğa olabilir". Söylenmek istenilen şey, başlangıç koşullarındaki çok küçük değişim sistemin davranışında çok büyük fark yaratabilir. Davranışı önceden öngörülemeyen dinamik sistemleri ya da onların davranışları kaos olarak nitelendirilir. Çin de kanat çırpın kelebeğin

nasıl olup da Teksas da kasırga yaratacağını açıklayan matematiksel modelden çok, Teksas da olan kasırgayı Çin'de hangi kelebeğin hangi kanat çırpışıyla yarattığı ya da yaratacağı bilinmek istenir. Günün birinde kaos bir bilim olacaksa, matematikçiler o kelebeği bulmak zorundadır.

Belirsizlik, nedenini bilememek, sonuçları tahmin edememek, sistemi anlayamamak, herhangi bir fikir yürütememek, sorulara cevap verememek, verilen cevaplarla tatmin olamamaktır.

Heisenberg 1926'da yayınladığı makalesinde "Belirsizlik İlkesi"ni ortaya koymuştur ve bir bakıma Laplace'ın teorisini çürütmüştür. Heisenberg'in ulaştığı sonuç şuydu: Doğada hiçbir partikülün kesin olarak konumu ya da hızı bilinemezdi. Çünkü bilim adamı bir partikülün yerini bulmak için üzerine ışık tutuyordu ve partikül ile ışık dalgası kesiştiği zaman parçacığın konumunu belirleyebiliyordu. Ama bu sırada istenmedik bir sonuç da ortaya çıkıyordu, ışık ve partikül kesişinceye kadar partikülün hızı bilinmeyeceği için partikülün hızı belirsiz bir şekilde değiştirilmiş oluyordu. Bu da partikülün hem hızının hem konumunun aynı anda bilinmeyeceğini gösteriyordu, fiziksel dünyada her zaman bir belirsizlik vardı. Böylece modern kuantum fiziği doğdu Schrödinger de aynı olayı şu felsefi soruyla açıklamaya çalışmıştır: "Bir kediyi, radyoaktif bir atom, bir şişe içinde siyanür gazı ve enerji aldığı anda çalışmaya başlayan bir çekiçle aynı kutuya koyarsan ne olur? Eğer radyoaktif maddeyle kedinin kuyruğu değerse çekiç çalışacak, şişeyi kıracak ve kedi ölecektir. Ama eğer radyoaktif madde hareketlenmezse kedi yaşayacaktır. Ama bilim adamı kutuyu açana kadar atom ne hareketli ne de hareketsizdir, iki olasılığın da birleşimidir. O zaman kutu kapalıyken kediye ne olur?"

Schrödinger'in Kedisi olarak bilinen bu teoriyi şöyle yorumlayabiliriz; biz kutuyu açana kadar kedi hem ölü hem de canlıdır, ancak kutu açıldığında iki durumdan birinde ya da diğerindedir, olmak zorundadır. Bu da partikülün, biz konumunu tespit edene kadar nasıl belirsiz, ya da aynı anda iki yerde, olabileceğini açıklıyor. Bu durumda şeytan teorisi geçersiz kılınmış oluyordu, çünkü herhangi bir anda evrendeki parçacıkların yeri belirsizdir ve konumlarını tespit etmek olanaksızdır.

Nedensellik

Sistemin herhangi bir zamandaki çıktısı,

- mevcut zamandakine
- geçmişte girdi değerlerine
- mevcut zamanla birlikte geçmişteki girdi değerlerine bağlıysa, bu sistem nedenseldir.

Diğer bir anlatımla eğer bir sistemin çıkışı, şu anki girişi dâhil olmak üzere önceki değerlerine bağlı ise sisteme nedensel (causal) sistem denir. Tüm gerçek zamanlı fiziksel sistemler nedenseldir; çünkü zaman sadece ileriye akar.

"Bundan sonra, dolayısıyla, bundan dolayı" olarak başlayan cümlede, bir diğerini takip eden bir olay bir önceki olayın gerekli bir sonucu olarak görülür.

A ve B ile ilişkili iki olay için, olası farklı ilişkiler şunlardır:

- A, B'ye neden olursa doğrudan nedensellik;
- B, A'ya neden olursa ters nedensellik;
- A ve B ortak bir nedenin sonuçlarıdır, ancak birbirlerine neden olmazlar;
- A ve B'nin her ikisi de (açık veya üstü kapalı) koşullu C'ye neden olur;
- A, B'ye neden olursa ve B'de A'ya neden olursa çift yönlü veya döngüsel nedensellik;
- A, B'ye neden olan C'ye neden olursa dolaylı neden;
- A ve B arasında bağlantı yoktur; korelasyon bir tesadüf.

Öte yanda bir sistemin çıkışı, girişin sadece o andaki değerine bağlı ise bu sisteme belleksiz sistem denir. Bir sistemin çıkışı, girişin önceki ve/veya sonraki değerlerine bağlı ise bu sisteme bellekli sistem denir. Gecikme, öteleme sinyalin girişi ile ilgili olmadığı durumlar için sistem belleksizdir. Çünkü zamanda gecikme ya da öteleme sinyalin giriş değildir.

Momentum

Kütle ve hızın çarpılmasıyla bulunan bir değer olup cisimlerin enerjisinden ortaya çıkan bir harekettir. Açısal momentum ile karıştırılmamalıdır. Enerjinin aktarılma yönünü gösterir. Momentum, hareket eden kütlelerin bir ölçümüdür: ne kadar harekette ne kadar kütle olduğudur.

Örneğin, hareketli bir nesne, yere göre sabit bir noktaya göre seçilen bir gözlem çerçevesinde momentumu olmasına rağmen, kütle merkezine iliştilen bir gözlem çerçevesinde ise sıfır momentumu vardır.

Bir nesnenin sahip olduğu momentumun miktarı, iki fiziksel büyüklüğe bağlıdır: Kütle ve o gözlem çerçevesindeki hızı. Fizikte, momentum için kullanılan sembol genellikle kalın **P** harfidir (kalın yazılmasının nedeni vektör olmasındandır.); böylece şöyle ifade edilebilir;

$$\mathbf{P} = m \times v$$

burada **P** momentum, m kütle ve v hızdır.

Newton'un ikinci yasasına göre, bir parçacığın momentumunun değişim hızı, parçacık üzerine etki eden net kuvvetle doğru orantılıdır ve yönü ise bu net kuvvetin yönündedir. Net kuvvetin, momentumdan türetilmesi aşağıdaki gibidir.

$$\sum \mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} + \mathbf{v} \frac{dm}{dt}$$

Eğer kütle zaman içinde sabitse, türevin ikinci terimi (thrust terimi denir) ($\mathbf{v} \frac{dm}{dt} = 0$). Böylece şunu yazabiliriz:

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

Ya da daha basit olarak,

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a},$$

burada **F**'nin net kuvvet olduğu anlaşılmalıdır.

Örnek: yine bir model uçak, 1 kg kütleli, 1 s içinde kuzeye doğru sıfır hızdan 1 m/s hızına ivmelenir. Bu ivmelenme için gerekli kuvvet 1 newtondur. Momentumdaki değişim 1 kg•m/s'dir. Kokpitteki pilot için ise momentumda bir değişim yoktur. İvmelenme sırasında pilotun sırtının koltuğa yapışması, bu itme'ye tepki kuvvetine karşı dengelenmedir.

Isı Yayılımı

Isı enerjisinin bir yerden başka yere transfer olmasına ısının ışıma ya da radyasyon yoluyla yayılması denir. Moleküllerin titreşimleri nedeniyle mutlak sıfırdan daha sıcak bütün cisimler sıcaklıklarından dolayı çevrelerine ışıma yaparak etraflarına ısı yayarlar. Isının yayılma yolları iletim, konveksiyon ve ışımadır. İletim, birbiriyle doğrudan temas halinde olan sistemler arasında ısının aktarılmasıdır. İletim ve konveksiyon maddenin taneciklerinin etkileşmesiyle, ışıma elektromanyetik dalgalarla enerjinin yayılmasıdır.

Isınan tüm maddeler sıcaklığına bağlı olarak çevreye elektromanyetik ışıma şeklinde enerji yayar. Sıcaklığı arttıkça bir maddenin yaydığı ışıma miktarı da artar. Ayrıca tüm maddeler elektromanyetik ışımayı soğurur. Güneş'in yaydığı ışıma enerjisi yeryüzü tarafından soğrulur. Elektromanyetik dalgalar boşlukta yayılır. Bu nedenle Güneş Dünya'dan 150 milyon kilometre uzakta olmasına rağmen, Güneş'in enerjisi Dünya'ya ulaşır.

Sıvı ve gaz gibi akışkan maddelerde enerji bir bölgeden başka bir bölgeye konveksiyon (taşıma) yoluyla aktarılır. Akışkanın bir bölgesindeki iç enerjisi yüksek olan tanecikler bütün olarak iç enerjisi daha düşük olan başka bir bölgeye doğru hareket eder. Çünkü sıcaklık arttıkça sıvı ve gazlar genleşir, hacimleri artar. Hacimleri arttığı ve kütleleri değişmediği için öz kütleleri azalır. Sıcaklığı artıp öz kütlesi azalan akışkan yükselir, daha soğuk ve öz kütlesi daha az olan akışkan alçalır.

Fransız bilim insanı, Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796 – 1832) ısı ve hareket bilimi olan termodinamik konusunda çalıştı. O yıllarda buhar makineleri sayesinde İngiltere hem askeri hemde ekonomik açıdan büyük bir üstünlüğe sahipti. Çünkü İngilizler buhar gücünü kullanmada uzlaşmışlardı. Nicolas buhar makinesinin nasıl çalıştığını anlamaya ve bunu Fransanın yararına kullanmak için çalışmalar yaptı. Ona göre ateşli ve buharlı makinelerin nasıl çalıştığını çok iyi anlamak gerekliydi. 1824 yılında yazdığı "Ateşin Hareket Gücü Üzerine Düşünceler" adlı 60 sayfalık kitabında ısı makinelerinin çalışması üzerine tüm temel yasaları ortaya çıkardı. Nicolas, ısının sıcaktan soğuğa doğru akan bir tür su benzeri nesne olduğuna inandı. Bu akışkanlık yararlı işler için kullanılabilirdi. Isı motorunu çalıştırmak için ısı kaynağı ile soğuk ortam arasındaki sıcaklık farkını artırmak yeterliydi. Buhar makineleri yerine sıcaklık ile soğuk arasındaki enerji akışını kullanarak ısı motorlarının çalıştırılacağını keşfetti. Isı makinelerinin yeni bir bilim dalı olması sağlandı, termodinamik. Araba motorları, jet motorları inanılmaz yüksek sıcaklıkta ve verimli çalışıyorlar.

Nicolas ısı motorları konusundaki fikirlerinin dünya üzerindeki inanılmaz etkilerini göremedi. 19 uncu yüzyılın ortalarına dek bilim insanları ve mühendisler farklı enerji türlerini birbirleri ile ilişkilendirmeye çalıştılar. Belirli bir enerji türünden başka bir enerji türü nasıl elde edilebilir? Sözelimi 30 mililitre suyu bir santigard ısıtmak için gerekli enerji miktarı 12.5 kg'lık ağırlığı bir metre kaldırmak için gerekli olan enerjiye eşittir. Mekanik ve ısı farklı şeyler

olsa da ikisi de aynı şeyde birleşiyordu, enerji. Bu fikir termodinamiğin birinci kanunu olarak bilinir.

Termodinamiğin Sıfırncı Yasası, “**termal denge**” kavramına dayanmaktadır: “*İki ayrı cisim bir üçüncü cisimle ısı dengede ise birbirleriyle de ısı dengededir.*” Bu ifade, temas halinde olan cisimlerin ısı alış verişinde bulduklarını ve belirli bir süre sonunda da termal dengeye gelerek aynı sıcaklıklara sahip olacaklarını söylemektedir.

Birinci kanun, enerjinin asla yaratılamıyacağını, yok edilemeyeceğini; bir türden diğerine değiştiğini gösterir. “*Enerji var iken yok, yok iken de var edilemez, ancak bir halden diğer bir hale dönüştürülebilir.*” Eğer bir sistem ya da obje enerji kazanırsa bu enerji mutlaka dışardan bir yerden gelmek zorundadır. Enerji türlerinin tümüyle ısıya dönüştüğünü deneysel olarak gösteren Joule, 1840 yılında 1 cal’lık ısının 4,184 J değerindeki işe eşit olduğunu bulmuştur.

Termodinamiğin İkinci Yasası: “**Enerjinin tamamı faydalı işe çevrilemez, bir kısmı sistemin içsel bütünlüğünü korumak için kullanılır.**” İkinci yasaya göre, herhangi bir süreçte bir sistem ve çevresindeki entropi değişimi ya “sıfır” yada “pozitif”tir”. Mekanik işe çevrilemeyecek termal enerjiyi temsil eden **termodinamik** terimine **entropi** denilir. Bir sistemdeki düzensizliğin ifadesidir. Termal bir işlem varsa **entropi** ya sıfıra eşit olur ya da pozitif değer alır. Gündelik hayatta sadece **termodinamikte** değil, istatistikten teolojiye birçok alanda kullanılır.

Evrenin entropisi sürekli artma eğilimindedir. Termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı, ancak sıcak bir kaynaktan daha soğuk bir kaynağa doğru kendiliğinden akar ve akan ısı miktarının bir kısmını işe çevirmek mümkündür. Bir ısı kaynağından iş üretebilen makinalara “**Isı Makinaları**” denir. İş verilerek bir ortamdan ısının uzaklaştırılmasını sağlayan makinalara “**Soğutma Makinaları**” denir. Isı pompaları ve klimalar da birer soğutma makinalarıdır.

Termodinamiğin ikinci kanunu için en yaygın iki görüş vardır. Bunlar **Kelvin-Planck ifadesi** ile **Clausius** ifadesidir. Kelvin-Planck ifadesine göre, hiçbir ısı makinesi sadece bir ısı enerji deposuyla ısı alış verişinde bulunup net iş üretemez. Clausius ifadesine göre ise soğuk bir cisimden daha sıcak bir cisme çevreden iş almadan ısı enerji aktaran bir makine yapılamaz.

Termodinamiğin üçüncü kanunu, mutlak sıfır sıcaklığındaki maddelerin entropisi ile ilgilidir ve esas olarak mükemmel bir kristal maddenin mutlak sıfır sıcaklığındaki (-273°C) entropisinin sıfır olduğunu ifade eder. Bu kanunla entropi için başlangıç değer şartları belirlenir. Mutlak sıfır, bir cismin keyfi olarak yaklaşılabileceği, ancak asla erişemeyeceği bir sıcaklıktır. Laboratuarda 2.0×10^{-8} K kadar düşük sıcaklıklar elde edildi, ancak mutlak sıfıra

ulaşılamadı. Termodinamiğin Üçüncü Yasası şu temel yargıyı ifade etmektedir: “Bir nesnenin sıcaklığını sonlu sayıda aşamada mutlak sıfıra indirmek olanaksızdır.”

Ondokuzuncu yüzyılda bilim insanları evrendeki enerji miktarının sabit olduğunu çıkardılar. Bir ısı motorunda enerji yaratılmamıştı, aslında ısdan mekanik işe dönüştürülmüştü. Burada yanıtlanması gereken soru: “Bir enerji türü diğerine dönüştüğünde tam olarak ne olur, daha doğrusu bunu niye yapar?” Termodinamiğin ikinci kanununu geliştiren, Alman bilim insanı, Rudolf Claus (1822-1888), termodinamiğin matematik analizini yaptı. Evrende sabit miktarda enerji olduğunu anlamakla kalmadı; enerjinin çok katı bir kuralı takip ettiğini de gördü. Örneğin ısı şeklineki enerji belirli bir yöne doğru hareker ediyordu. Sıcak bardaktaki suya dokunulduğunda ısı ele geçer ve bardaktaki su soğur. Nesnelere daha sıcak yapmak için başka bir şey yapmak gerekir. Enerji kendi başına bırakıldığında daima yoğun olandan dağınık olana doğru gider. **Bilim, daima başkalarının gördüğü şeyleri görmek ama kimsenin düşünmediğini düşünmektir.** Isı kendiliğinden soğuk bir vücuttan sıcak bir vücuda akmaz. Claus bunun nedenini düşünmüş. Claus, enerjinin nasıl nakledildiğine yönelik tüm fikirleri bir araya getirmiş matematik bir yapı içine koymuş. Isı sıcak bir bedenden soğuk bir bedene doğru giderken entropi daima artar,

$$\frac{dS}{dt} \geq 0$$

Entropi ısının nasıl yayıldığını veya dağıldığını ölçmeye yarıyor. Sıcak nesnelere soğurken entropileri artar. Soyutlanmış bir sistemde bu işlem geri çevrilemez. Evrende entropi sürekli olarak artmaktadır, önlenemez. Bu termodinamiğin ikinci yasası olarak bilinir. Isı veren herşey bir şekilde birbirleri ile bağlantılıdır. Isı veren herşey geri döndürülemez işlemin bir parçasıdır. Bu bir yayılma ve dağılma işlemidir. Entropiyi artırma işlemidir. Victoria döneminde bilim insanları sıcaklığın nakledilebildiğini, taşınabildiğini ve genişleyerek tüm evren yayıldığını göstermişler.

Ondokuzuncu yüzyılın ortasında bir tartışma başladı, entropi tam olarak neydi? Neden hep yükseliyordu? Bu sorulara yanıtı Ludwig Boltzmann (1844 -1906) verdi. Boltzmann diğer bilim adamlarına benzemiyordu. Büyük sanatçılarda gördüğümüz mizaca sahipti. Mantıksal ve analitik düşünüyordu. Matematik dışında müziğe de tutkusu vardı. Harika bir piyanistti. Vargner’in büyük ve dramatik operalarına ve Beethoven’un saf duygusallığına hayrandı. Matematikçi olarak gerçekliği tarif etti. Boltzmann’a göre eğer bir nesne sıcak ise atomları çok daha hızlı hareker eder. Dünyaya atomlar açısından bakmak. Bir problem vardı: Küçük bir hacim gazdaki inanılmaz sayıdaki atom nasıl incelenir bilirdi? Atomlar sürekli birbirlerine çarpıyor, hız ve yön değiştiriyorlardı ve sayıları çok fazlaydı. Boltzmann çözümü imkansız olan bu problemi çözenin bir yolu olduğunu gördü. Herbir atomun tek tek hareketlerini anlamaya çabalamak yerine atomların belirli hızlarda belirli yönlere hız alabilecekleri teorisi üzerine çalışmaya başladı. **Boltzmann kendini maddenin içine nakletti.** Onu tarih

edecek matematiksel yapıyı hayal ederek buldu. Çağdaşları onun fikirlerine inanılmaz bir düşmanlıkla baktılar. Günümüzde atomların varlığı tüm maddelerin küçük parçacıklardan oluşması fikri sorgusuz kabul ettiğimiz bir şey. Fakat Boltzmann'ın döneminde birçok fizikçi bu fikri kabullenmek istemiyordu. Atom nasıl gerçek olarak görüle bilirdi? Atomun varlığına inanmıyorlardı. Boltzmann, evrenin atomik yapı üzerine kurulmuş olabileceğini ve olasılık matematiği ile anlaşılabilir olacağını gördü. Boltzmann, termodinamiğin ikinci kanunlarının atomu açıklayabileceğini gördü. **Atomların entropinin ne olduğunu ve neden daima arttığını açıklayabilecek güçleri vardı.** Bütün nesnelere çok daha küçük atom ve moleküllerden oluşuyordu. Sıcak nesnelere yalnız birkıldığında ya da soğuk bir ortama temas ettiğinde neden hep soğudunun gerçek sebebinin buldu. **Sıcak metal bir blok düşünün içindeki atomlar sürekli titreşim halindedirler. Atomlar titreşirken kenardaki atomlar enerjilerinin bir kısmını temas halindeki diğer nesnenin atomlarına transfer edeceklerdir.** Böylece ısı enerjisi yavaş ve çok doğal bir şekilde çevresine yayılacak ve azalacaktır. Boltzmann sistemin düzensiz halini hesaplamamızı sağlayan bir dizi formül ortaya çıkardı.

$$S = k \log W$$

Bu formüldeki S entropi, k Boltzmann sabiti ve W olayın veya durumun oluşma olasılığıdır. Boltzmann sabiti $k = 1.380\ 658(12) \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8.617\ 385(73) \times 10^{-5} \text{ eV/K}$ dir.

Bu denklemin anlamı şudur. **Evrendeki her şeyin karmaşık ve düzensiz olması için derli toplu ve düzenli olmasına göre daha fazla yöntem vardır. Evrendeki her şey düzenli halden düzensizliğe doğru hareket eder. Düzensizlik her şeyin kaderi.**

Claus, entropi denen şeyin sürekli arttığını göstermişti. Boltzmann entropi'nin aynı zamanda düzensizliğin ölçüsü olduğunu bulmuştur. Entropi her şeyin kötü bir hale geldiğinin açıklamanın teknik bir yoluydu. Ölümünden bir kaç yıl sonra, yaşarken saldırıya uğrayıp aşağılan fikirleri kabul edildi. Onun fikirleri yeni bir bilimsel temel haline geldiler. **Değişim ve bozulma işlemi kaçınılmaz.** Entropi yasası da evrenin bir maksimum enerji seviyesine maksimum düzensizlik seviyesine ulaşacağını söylüyor. Evrenin kendisi de bir gün ölmek zorunda.

Eğer her şey bozuluyorsa her şey düzensiz hale geliyorsa nasıl var olduğumuzu merak ediyor olmalısınız. Belki ikinci yasa sayesinde bunların hepsi var olabiliyor.

Düzensiz halden yeni bir düzenli hal nasıl yaratabiliriz. Eski buhar öncülleri motorları keşfettiler, dünyamızdaki bize has dediğimiz şeyleri yarattılar. Araba motorları ikinci kanunu kullanmak için tasarlanmıştır. Motor düzenli dediğimiz yakıt enerjisi ile çalışıyor. Sonra yakıt gaz karışımına dönüşüyor. Çevreye ısı ve ses de yayıyor. Düzenli halden düzensiz hale dönüştürüyor. Motorlar düzensiz halde düzenli hale dönüşümü yaparak tekerlekleri döndürüyor. Vücutumuzda aynı prensiple çalışmaktadır. Düzenli enerji ile dolu çikolatayı yediğimizde vücudumuz onu işleyecek ve daha düzensiz enerji haline getirecek. Bu sırada

kendine gerekli düzenli gücü sağlayacak. Evrende düzensizliğe doğru giden parçalanmadan yapıcı düzenli sistemler çıkabilir. Buhar makineleri, elektrik santralleri, dünyada yaşam; bütün bunlar evrende düzenli halden düzensize gidişinden faydalanılıyor.

Kaynaklar

1. Antenna Theory Analysis And Design, Third Edition, Constantine A. Balanis, Wiley, 2005
2. Antennas and Wave Propagation, By: Harish, A.R.; Sachidananda, M. Oxford University Press, 2007.
3. Quantum radar, Lorenzo Maccone and Changliang Ren, 7 May 2019, Cornell University.
4. Photon As A Quantum Particle, Blwo Bialynicki-Birula, Center for Theoretical Physics, Polish Academy of Sciences Lotników 32/46, 02-668 Warsaw, Poland and Institute of Theoretical Physics, Warsaw University Hoża 69, 00-681 Warsaw, Poland. Acta Physica Polonica Vol. 37 (2006).
5. Entanglement, quantum phase transitions and quantum algorithms, Román Óscar Orús Lacort, Barcelona, July, 2006, Universitat de Barcelona, Departament d'Estructura i Constituents de la Matèria.
6. Fundamentals of Quantum Physics, Textbook for Students of Science and Engineering, Springer Heidelberg New York Dordrecht London.
7. Quantum Physics A Fundamental Approach to Modern Physics, John S. Townsend, - University Science Book Sausalito, California 2010.
8. Quantum Radar, Marco Lanzagorta, ITT Exelis, 2011.
9. Düzen Ve Düzensizlik: Enerjinin Hikayesi, Joseph Smith, Youtube.