

DÜŞÜNCELERİMİZİN KUANTUM MEKANIĞSEL TEMELLERİ

Prof. Dr. Cihan SAÇLIOĞLU

Sabancı Üniversitesi öğretim üyesi

Zihnimizin işleyişini -kabaca- bir bilgisayara benzetirsek, bunun 'yazılım' tarafında isim, sıfat ve fiillerin oluşturduğu bir dil; 'donanım' tarafında ise nöronlar, aksonlar, sinir ağları, nörötransmitterler gibi fiziksel unsurlar var.



ZİHNİMİZİN YAZILIM TARAFI

Zihnimizin işleyişinin kökenini önce yazılım tarafına bakarak sorgulayalım. Örneğin ‘kedi’ gibi bir cins isim nereden geliyor ve nasıl herkesçe paylaşılmıyor? Bu konu hakkında Plato, Aristo ve skolastik felsefedeği tartışmaları hızla geçersek, modern bilimdeki cevap kedi DNA’sının küçük varyasyonlar dışında ‘aynılığı’ ve ‘kararlılığı’na dayanıyor.

Aynılık DNA molekülündeki atomların özdeşliğinden, kararlılık ise molekülün ancak ayrik kuantum enerji seviyelerinde bulunabilmesinden kaynaklanıyor. Sembolik olarak “bir enerji seviyesi iki kulaklı, bir üst enerji seviyesi üç kulaklı bir kediye yol açıyor” diyelim. Çevredeki gelişigüzel ısı enerjisi gibi etkiler molekülü üst seviyeye çıkarmaya yetmediği için bildiğimiz iki kulaklı kediler görüyoruz. Burada, Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger'in meşhur ‘Yaşam Nedir?’ kitabındaki bir argümanı özetledik.

Atomların aynılığı ve kararlılığı da sadece kuantum mekaniği ile açıklanabiliyor. Merkezde bir proton ve çevresinde ona bağlı bir elektrondan ibaret hidrojen atomunun minimum bir enerji durumu da içeren kesikli enerji spektrumu Schrödinger denkleminden çıkarıyor ve böylece her hidrojen atomunun aynı tayfi vermesi anlaşılmaktır.

Buna daha sezgisel düzeyde bakarsak, diyebiliriz ki elektron çekirdeğe düşmez, zira Heisenberg Belirsizlik İlkesi'ne (HBI) göre çekirdek gibi atomdan yüz bin kere küçük bir mesafeye kısıtlanması, hızının aynı oranda artmasına sebep olacaktır. Neticede bu efektif itme, elektronu merkeze çeken Coulomb kuvvetini (elektron ve pozitron arasındaki elektrostatik çekim kuvveti) dengeliyor ve atom için 1 Angstrom (bir metrenin on milyarda biri) kadar çaplı, daha fazla sıkıştırılamayacak bir hacim ortaya çıkıyor. Daha ağır atomlarda proton, nötron ve elektron sayıları artıyor.

Elektronlar yine sadece kuantum mekaniksel kesikli enerji seviyelerinde yer alabiliyorlar, fakat önemli bir yenilik var: Pauli Dönüşüm İlkesi (PDİ-Bir atomda iki elektronun aynı anda aynı enerji seviyesinde bulunamayacaklarını ifade eden prensip) dolayısıyla iki elektron aynı kuantum durumunda bulunamayacağı için, elektronlar en aşağıdan başlayarak yükselen enerji seviyelerine yerleşiyorlar.

Bu kuantum durumunu belirleyen özelliklerden birisi de elektronun ‘iç açısal momentumu’, yani $+1/2$ veya $-1/2$ Planck sabiti olabilen spin kuantum sayısı. Elektron en iyi bilinen spin $1/2$ parçacık, fakat PDİ daha genel bir prensip ve bize spinleri $1/2, 3/2, 5/2, \dots$ olan özdeş parçacıkların aynı kuantum durumuna giremeyeceklerini garanti ediyor. Bu da HBI gibi etrafta gerçek bir kuvvet yok iken itme sağlayan tamamen kuantum mekaniksel bir etki.

Burada bir an için gündelik kavramlarımızdan ‘boş/dolu’ üzerine düşünelim. Her su molekülinin temelde HBI'den kaynaklanan bir hacmi var; iki su molekülü yaklaştırırsa dışındaki elektronlar PDİ ile birbirlerini itiyorlar, yani bardak bu iki kuantum fiziği etkisi sayesinde doluyor. Aslında ‘katı madde’, yani çekirdekler bu hacmin milyarda birinin milyonda birini işgal ediyor (çekirdekteki proton ve nötronlara bin kere daha yakından bakılırsa onların da pek katı olmadıkları görülüyor, ama bu ana konumuzun dışında).

Önermemiz her türlü gündelik madde için doğru; beton yapılar, kayalar ve kendi vücudumuz da bu oranda boş. Doluluk algısı tamamen PDİ'den geliyor.

Şimdi bir sonraki soruya gelelim: “Tamam, bir elektron ve bir protondan yapılan hidrojen atomları, kuantum yasalarının ancak belli enerjilere izin vermesi dolayısıyla birbirlerinin aynısı olmak zorunda ama, neden evrendeki bütün protonlar ve bütün elektronlar hep aynı?”

Bunun doğal bir açıklaması, Rölativistik Kuantum Alan Teorisi'nde (RKAT) var. Buradaki üç kavramı açalım: Rölativistik enerji E ve momentum p ilişkisi $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$ şeklinde. İlk rölativistik kuantum denklemi yazan Paul Dirac enerjiyi bulmak için karekök alıncá, artı ve eksi enerjiler buluyor. Doğada her şey en alt enerji seviyesine gider; o zaman rölativite bize dipsiz bir kuyu mu veriyor? Dirac bu problemi bütün negatif enerji seviyelerinin zaten dolmuş olduğunu farz ederek çözüyor; yani “boşluk diye bildiğimiz sonsuz negatif enerjili ve negatif yüklü bir denizdir” diyor.

Bazen böyle bir negatif enerjili elektron bir foton (elektromanyetik dalgaının toplam enerjisini oluşturan enerji paketçiklerinden her biri için kullanılan kelime) yutarak pozitif enerjiye terfi ediyor; ‘boşluktaki’ sonsuz negatif enerji ve yükten de bir birim eksilttiği için ortaya aynı zamanda bir de elektronun tersi, yani pozitif yüklü ve pozitif enerjili bir parçacık ortaya çıkıyor. Buna bir fotonun

elektron-pozitron çiftine dönüşmesi olarak bakıyoruz. Dönüşümün tersi de mümkün.

Kuantum prensipleri ve rölativite, bize böylece antimaddenin varlığını ve maddeyle nasıl etkileşeceğini söylüyor. Ayrıca, zamanda geri giden bir negatif enerjili elektron, zamanda ileri giden bir pozitif enerjili pozitron olarak düşünülebileceği için, bütün elektron ve pozitronların zamanda ileri-geri zızkak yapan tek bir elektronadan ibaret olmasını mümkün kıliyor. O zaman bütün elektronların neden aynı olduğunu açıklamış oluyoruz!

Bu ünlü fizikçi Richard Feynman'ın hocası Wheeler'in çığın fikirlerinden biri, ama aslında rölativite, kuantum mekaniği ve PDİ'nin nasıl derinden ıllıltı olduğuna işaret ederek bunların gerçek sentezi olan RKAT'ının ipuçlarını veriyor. Şimdi bu daha temel teoriyi biraz tanıtalım ve kuantumun anlamda özdeşliğe nasıl yol açtığını açıklayalım.

Alan teorilerinde temel gerçeklik, bütün uzaya yayılmış bir ‘alan’dır, Newton fizигindeki gibi kuvvetlerin etkisiyle boşlukta hareket eden noktasal parçacıklar değil. Mesela klasik elektromanyetik alan dediğimiz, uzayın her noktasında zamanla değişebilen ve birbirini etkileyen bir elektrik ve bir manyetik vektörler ‘tarası’dır.

Kuantum elektromanyetik alan teorisinde bu vektörler her noktada foton üretebilen veya yok edebilen işlemcilere dönüşüyor. Buna paralel olarak, kuantum elektron alanı da her noktada elektro ve pozitronlar yaratıp yok edebiliyor. Enerji ve kütlenin birbirine dönüştüğü rölativistik teorilerde böyle süreçler doğal ve kaçınılmaz hale geliyor.

Bu alan işlemcileri uzay-zamanın temel simetri grubu olan Poincaré grubunun (Fransız matematikçi Henri Poincaré'nin adı rölativite ile önemli öncül görüşleri dolayısıyla) temsilleri. Temsiller, Wigner'in gösterdiği gibi iki sayı ile belirleniyor: Parçacığın kütlesi ‘m’ ve spinı ‘s’. Kütle sürekli, spin ise 0, 1/2, 1, 3/2, 2... şeklinde değerler alabiliyor.

Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli, 1920'lerde empirik bir gözlem olarak ortaya attığı yarım spinli parçacıkların ‘Dışlama İlkesi’ne tâbi oldukları iddiasını, 1948'de RKAT çerçevesinde bir matematiksel teorem olarak ispat edebildi. Poincaré simetrisi uzayda ve zamanda özel bir nokta veya yön olmadığını, ayrıca özel bir eylemsizlik çerçevesi bulunmadığını söylüyor. Gündelik

- Herkesin birer burnu olması,
- Etrafımızda gördüklerimizin amorf değil, belli tanımlanabilir ve sınıflandırılabilir kategorilerle kısıtlı olması,
- Bizim bu nesnelerin benzerliğini cins isimlerle ifade etmemiz,
- Benzer ajanların eylemleri de benzer olacağından yemek, içmek gibi fiiller türememiz,
- Belli sayıda benzer nesnelerden kümeler oluşturup, buradan sayı kavramını soyutlamamız,
- Boşluk-doluluk kavramlarımızın olması vb. zihnimizde yansımalarından kaynaklanıyor.

dille “madem bir elektron (veya foton) alan işlemcisi her nokta, her zaman, her yön ve her çerçevede aynı, o zaman her yerde birbirimin tipkisi elektronlar (veya fotonlar) üretecektir” diyebiliriz.

Neticede, herkesin birer burnunun olması, etrafımızda gördüklerimizin amorf değil, belli tanımlanabilir ve sınıflandırılabilir kategorilerle kısıtlı olması, bizim bu nesnelerin benzerliğini cins isimlerle ifade etmemiz, benzer ajanların eylemleri de benzer olacağından yemek, içmek gibi fiiller türememiz, belli sayıda benzer nesnelerden kümeler oluşturup, buradan sayı kavramını soyutlamamız (Frege-Russell sayı tarifi), boşluk-doluluk kavramlarımızın olması vb. RKAT’ının tezahürlerinden ve bunun zihnimizde yansımalarından kaynaklanıyor.

ZİHNİMİZİN DONANIM TARAFI

Zihnimizin ‘yazılım’ tarafı ile RKAT’ının ilişkisini böylece özetledikten sonra, donanım kısmı daha kolay: Sinir hücrelerinde sinyaller Sodyum, Potasyum ve Kalsiyum iyonlarının alışverişile gerçekleşiyor. Bu iyonların-ve tekrar edersek, DNA aynılığı dolayısıyla sinir hücrelerinin-aynılığının doğal açıklamasının RKAT olduğunu artık neredeyse tekrarlamaya bile değil.

Böylece her gün gördüğümüz, ‘klasik’ çevremizin ve onu betimleyen lisaniımızın temelde RKAT’den kaynaklandığını açıkladık. Klasik fizigin gündelik olayları açıklamakta yeterli olduğu, kuantum fizığının sadece atom ve atom altı seviyelerde kendini göstereceği şeklindeki yaygın görüş bir yanılıdan ibaret.

Bu yanlığının matematiksel kaynağı Planck sabitinin (kuantum mekanığında aksiyonun temel birimi-kuantumu- olarak düşünülebilecek bir sabittir) gerçek dünyada çok küçük olması ve klasik fizikte bunun ‘tam sıfır’ değerini aldığı görüşü. Bu görüş matematiksel olarak yanlış, zira kuantum olayları $\exp(iS/\hbar)$ (burada S=eylem) ifadesi ile belirlenir ve bu $\hbar = 0$ noktasında tekil ve anlamsızdır. Yani $\hbar = 0$ limiti klasik fizik değil.

Bir an için bunu unutup ‘gerçek bir $\hbar = 0$ klasik fizik dünyası’ hayal edelim. Burada HİBİ ve PDİ olmadığı için atomlar elektromanyetik, yıldızlar ise gravitasyonel kuvvetlere direnemeyerek, küteleri, yükleri, açısal momentumları birbirinden farklı, amorf bir kara delikler kümesi, veya yeteri kadar enerjileri yoksa, tek bir dev kara deliğe dönüşmek zorunda kalacaklar. Bunun gündelik dünyamiza hiç benzemediği çok açık.