

# KUANTUM IŞINLANMA

HASAN ALIMLI

09.10.2003

## FRAGMAN

En son ne zaman bir uzay filmi izlediniz?Cüneyt Arkın'ın Dünyayı Kurtaran Adam isimli filmine seyrettiniz mi?Bu filmde bir el fenerinden çıkan ışıkla gösterilen;yaklaşık 20 yıl sonra Cem Yılmaz'ın

“-Osman Abi! Bir zahmet ışınla bizi abi!

-Motor soğuk! “

parodilerine konu olan ve bilim-kurgu yapıtlarında çok sık rastladığımız *ışınlanma!* Fakat bu yazı bilim-kurgu hakkında değil,aksine ışın bilimsel yönüne ve geçen yıllarda deneysel olarak da sınanan bir olaya değineceğiz.

## 1.BÖLÜM : TÜRK FİMLERİNDEN FAKS MAKİNESİNE

Bu filmlerde ışınlamadan kastedilen ,bir insanı bir yerden başka bir yere herhangi bir madde aktarımı olmadan ulaştırmak.Yani uzay araçları yerine bütün ulaşımın ışınlama makineleriyle yapıldığı bir dünyadan bahsediyoruz.

Kullandığımız faks makineleri ,ışınlama makinelerinin ilkel bir hali olarak düşünülebilir.Bir faks makinesinin temel olarak yaptığı şey ,verilen bir kağıdın yüzeyini küçük karelere bölüp tarayarak hangisinin beyaz hangisinin siyah olduğunu anlamak, siyah ve beyaz bilgilerini 0 ve 1'ler olarak kodlamak,en sonunda da bu bilgileri telefon aracılığıyla daha uzaktaki bir başka makineye göndermektir.Bilgileri alan makine bu verileri bir başka kağıda dökerek bir kopya elde eder.Burada önemli olan nokta;ikinci makinenin kopyayı

oluştururken sadece gönderilen bilgiyi kullanmasıdır. Yani makineler arasında bilgi alışverişi var, herhangi bir madde alışverişi değil.

Teknolojinin bu aşamadan çok daha ilerlediğini düşünün. Gittikçe kağıdı daha küçük karelere ayıran faks makinesinin bir gün atomik detaylara kadar ayırmaya başladığını düşünün. Makine her atomun hangi konum ve durumda olduğunu ikinci makineye bildirir. İkinci makine bu verileri kullanarak, kopyayı atom atom dizer ve orijinalin bir kopyasını elde eder. Üstelik bu makinelerde sadece kağıt değil her hangi bir cisim de fakslayabiliriz. Böyle bir makine aynı zamanda ışınlama makinesi olamaz mı?

Teknoloji ne kadar ileri olsa da yukarıdaki yöntemin işe yaramayacağı açık. Bu kadar detaylı tarama yapan bir faks makinesi eninde sonunda kuantum yasalarıyla çarpışmak zorunda kalacaktır.

Kuantum fiziği büyük cisimlerden oluşan dünyamızda kendini her nasılsa göstermiyor. Ama atomik ölçekteki mikro dünyada bulunan her şey kuantum yasalarına göre hareket ediyor. Dolayısıyla aşırı ilerlemiş faks makinemiz eninde sonunda bu atomların kuantum durumlarını <sup>(1)</sup> ölçmek zorunda kalacaktır. Fakat ,kuantum yasaları bize herhangi bir sistem üzerinde yapılan ölçümün, o sistemi geri dönmeyecek biçimde değiştirdiğini söylüyor. Bu nedenle faks makinesi orijinali bozmak gibi büyük bir tehlikeyle karşı karşıya. Kısacası faks makinemiz hem orijinali yok etti, hem de elimizde bir kopya oluşturmak için yeterli bilgi yok.

Peki 1993 yılında neler oldu?

1993 yılına gelmeden önce bu yüzyılın ilk çeyreğine doğru kısa bir yolculuk yapalım. Ama önce kısa bir film arası...

## **FİLM ARASI : NE İSTERDİNİZ?**

Çerez ,kola,su,açık hava ya da sigara film aralarında tercih edilenler listesinin ilk sıralarını işgal etmişlerdir. Peki De Broglie Dalgasını ,Heisenberg belirsizlik ilkesini ve maddenin dalga fonksiyonunu ister misiniz? Zaten bu yazıyı okumakla ikinci şıktakileri tercih etmiş bulunuyorsunuz.

Bohr atom modelinin gelişiminden sonra ışığın parçacık mı yoksa dalga olarak mı hareket ettiği tartışmalarından etkilenen Louis De Broglie (1892-1987) elektronun çekirdek etrafındaki dönme hareketini karakteristik dalga boyuna sahip dalga olarak düşündü. Ardından bu dalga boyunun ( $\lambda$ ), kütesine ( $m$ ), hızına ve planck sabitine ( $h$ ) bağlı olduğunu gösterdi ve  $\lambda = h / mv$  ile formülize etti.

Maddenin dalga özelliklerinin keşfi yeni ve ilginç soruların ortaya çıkmasına neden oldu. Bir topun yokuş aşağı hareket ettiğini düşünün. Klasik fizik kurallarıyla bu topun konumunu ,hareket yönünü ve herhangi bir andaki hızını yüksek doğrulukla bulabiliriz. Peki aynı şeyi bir elektron için yapabilir miyiz? Alman fizikçi Werner Heisenberg'in (1901-1976) belirsizlik prensibine göre bir parçacığın hem konum hem de momentumunu aynı anda ölçmek mümkün değildir.

Bundan da kötüsü , $\Delta x$  ve  $\Delta p$  ile göstereceğimiz bu ölçüm kesinsizliklerinin çarpımında,

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h / 4\pi$$

bağıntısıyla gösterilen mutlak bir alt sınır vardır

---

1) Bir elektron için kuantum durumu 4 parametreyle gösterilir.

1.  $n$ =enerji düzeyi (1,2,3...)

2.  $l$ =orbital şekli ( $s=0$  ,  $p=1$  ,  $d=2$  ,  $f=3$ )

3.  $m_l$ =manyetik kuantum sayısı (-1 ile +1 arasında değer alabilir)

4.  $m_s$ =spin-manyetik kuantum sayısı (-1/2 ya da +1/2 alır)

Bu formül bize ,eğer x konumunu ölçerek ne kadar kesin belirliyorsak ,p momentumunun o oranda belirsiz kalacağını söylemektedir.

Bir örnekle açıklayalım: Bir hidrojen atomunun elektronu  $9,11 \cdot 10^{-31}$  kg kütle ve ortalama  $5 \cdot 10^6$  m/sn hızla sahiptir. Hızını %1'lik hata payıyla bildiğimizi düşünelim. Hata payı  $0,01 \cdot 5 \cdot 10^6 = 5 \cdot 10^4$  m/sn olacaktır ve bu değer momentumdaki belirsizliğe yol açacaktır. Heisenberg formülünü kullanarak elektronun konumundaki hata miktarını bulabiliriz.

$$\Delta x \geq h / (4 \cdot \pi \cdot m \cdot \Delta v) = 10^{-9} \text{ m}$$

(Karşılaştırma için; bir hidrojenin atom çapı  $2 \cdot 10^{-10}$  m)

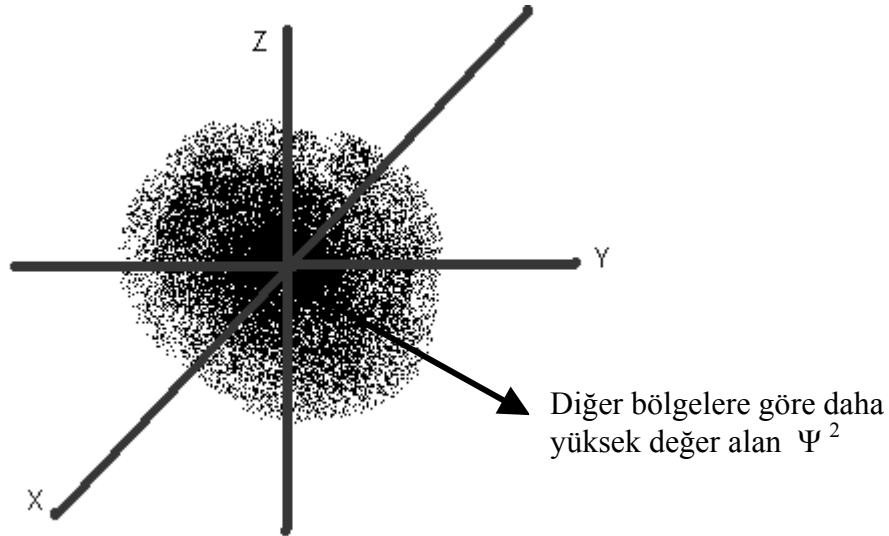
İşte bu yüzden bir elektronun atom içindeki konumu hakkında hassas bir ölçüm yapmamız imkansızlaşıyor.

Çok kısa bir süre sonra Erwin Schrödinger ( Hani şu meşhur kedinin sahibi!) kendi adını verdiği ve elektronun dalga hareketini tanımlayan dalga denklemini ( $\Psi$  ile gösterilir.) ortaya attı.

$\Psi$  tek başına fiziksel bir anlam ifade etmemesine rağmen  $\Psi^2$  elektronun belli bir enerji düzeyindeki konumu hakkında bilgi verebilir.

Daha öncede belirttiğimiz gibi bir elektronun durumu kesin olarak belirlenemez. Fakat bazı istatistiksel bilgiler işimize yarayabilir. Bu yüzden “kesin olarak elektron şurada” demekten öte elektronun belli bir bölge içinde olma olasılığında bahsedebiliriz.

$\Psi^2$  ifadesi de bir elektronun bir noktada bulunma olasılığını verir. Bu nedenle  $\Psi^2$ 'ye olasılık genliği de denir. (Şekil-1)



Şekil-1 . Bir hidrojen atomunda temel durumda bulunan bir elektronun olasılık genliği.

Evet ,film arası bitti. İsterseniz yerlerinize geçin, çünkü heyecanlı bölüm asıl şimdi başlıyor.

## 2.BÖLÜM : TELEPATİ

### **Bir gösteri**

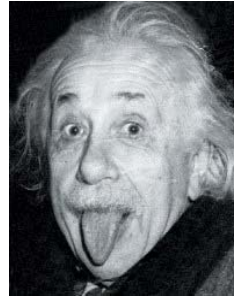
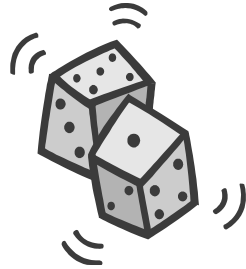
Bir telepati gösterisinde olduğunuzu düşünün. İki kişi birbirlerini göremeyecek şekilde bir perdenin farklı yanlarında duruyorlar. Adamlardan biri içinde renkli toplar bulunan bir torbadan top çekiyor ve seyircilere gösteriyor. Sonra perdenin diğer yanındaki adam ise topların renklerini doğru olarak tahmin ediyor. Bu tip bir gösteri gördüğünüzde ne yaparsınız? Olanlara fazla kafa yormayıp eğlenmeye bakmak sıkça tercih edilen bir yol. Bunun dışında iki tepki daha var. Ya bu adamların telepati yaptığını düşünüp ortada yeni bir olay olduğunu düşünürsünüz ya da işin içinde bir hile olduğunu düşünürsünüz. Eğer bu son görüşteyseniz, bu kez hilenin nasıl yapıldığını düşünmeye başlarsınız. Olası bir açıklama şekli gösteriden önce çekilecek topların renklerinin ezberlenmesidir.

Peki yukarıdaki senaryoya benzer bir şekilde parçacıkların telepati yaptıklarını iddia etsek ve bunu kanıtlamaya yönelik bir deney yapsak acaba fizikçiler hangi açıklama şeklini seçerlerdi? Buna benzer bir olay kuantum kuramının doğumu sırasında yaşandı ve adı kitaplara geçmiş pek çok fizikçi, Niels Bohr ve Albert Einstein dahil, tartışmanın karşı tarafında yer aldılar. Bu öykünün belki de en ilginç yönü “hile” açıklamasını değil de “telepati” açıklamasını desteklemesi.

### **Rastlantı mı?**

Kuantum kuramının üst üste gelme ilkesine göre herhangi bir fiziksel sistem olası durumlardan sadece birinde değil, birçoğunda birden bulunabilir. Örneğin hidrojen atomu çevresinde dolaşan bir elektron aynı anda her yerde bulunur. Bu gibi garip durumları, bizim günlük hayatımızda tanıdık olduğumuz kavramlarla bağdaştırmak için başta Niels Bohr olmak üzere kuantum kuramının ölçme postülasını ortaya attılar. Bohr’a göre bu elektronun nerede olduğunu bulmak istediğimiz zaman ölçme aletlerimiz “bu elektron her yerdedir” gibi garip bir cevap veremez, aksine elektronun bulunduğu yerlerden bir tanesini rasgele seçer. Üstüne üstlük ölçme işlemimiz elektronun içinde bulunduğu durumu da bozar. Aletimiz hangi konumu göstermişse, ölçümden önce her yerde olan elektron artık bu yeni konuma yerleşmiştir. Bu olaya kısaca **çökme (collapse)** denir.

Başta Albert Einstein olmak üzere pek çok kişi, kuantum durumunun bu garip ölçme postülasından dolayı rahatsızlık duyuyorlardı. Özellikle ölçüm sonucunun rastlantısallık içermesi Einstein’e “*Tanrı zar atmaz*” dedirtmiş ve kuantum kuramı içinde çelişkiler bulmaya yöneltmişti.



Buradaysa Einstein ‘in Boris –Podolsky ve Nathan Rosen ile 1935 yılında yayınlanan makalelerinin inceledikleri bir düşünce deneyini ve onun günümüze kadar uzanan öyküsünü anlatacağız.

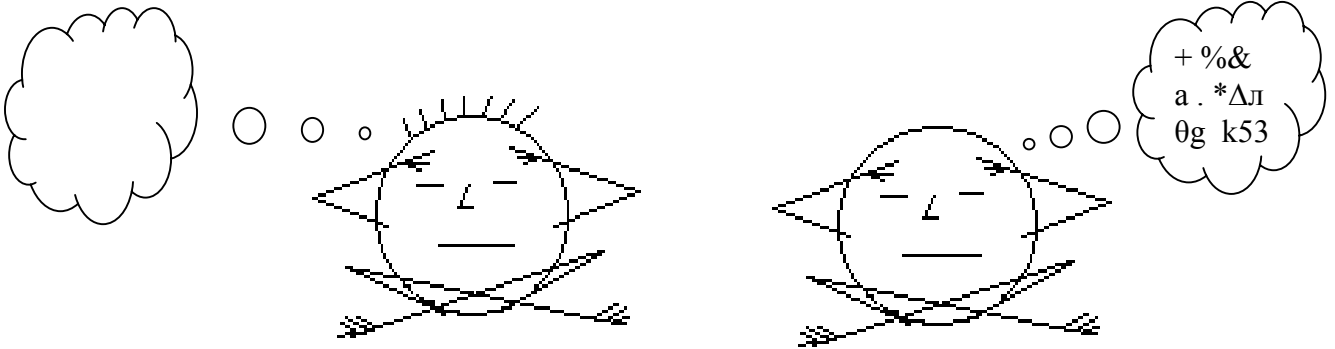
### Dolanık Parçacıklar

Kısaca EPR deneyi olarak adlandırılan bu düşünce deneyinde ,birbirleriyle etkileşen iki parçacığın hareketlerinin bağımlı olduğu ana temasında yola çıkılır.Bazı özel durumlarda parçacıkların biri üzerinde yapılan bir gözlem ikinci parçacığın ne yaptığı konusunda bilgi verir.Örneğin herhangi iki parçacık kütle merkezleri sabit bir rota üzerinde duracak şekilde etkileşiyorsa, ikisinin momentumları eşit ve zıt yöndedir.Böylece parçacıkların birinin momentumu ölçüldüğünde diğerinin momentumu da belli olacaktır.Bu özellikte olan parçacıklara **dolanık (entangled) parçacıklar** denir.Dolayısıyla dolanık iki parçacıktan birinin üzerinde hiç ölçüm yapmadan ölçüm sonucunu almak için elimizde bir yöntem var.

### Yoksa Telepati mi?

Kuantum kuramının bakış açısıyla olaylar şöyle gelişiyor:Ölçümden önce her iki parçacık bir çok farklı momentumda birden bulunur.Bir anlamda momentum belirsizdir. Birinci parçacığın momentumu ölçüldüğünde olası sonuçlardan biri rasgele seçilir.(Tanrı zarını atar),çökme dediğimiz olay gerçekleşir ve belirsizlik ortadan kalkar.Artık her iki parçacığın momentumu bellidir.Bundan sonra ikinci parçacığın momentumu ölçüldüğünde birinci ölçümle doğru sonuç verecektir.

Ölçümün sonucu ilk ölçüm yapıldığı anda belli olduğu için (daha önce değil) ve ikinci parçacık bunu o anda öğrendiği için iki parçacık arasında sonsuz hızla bir mesaj gidiyor olmalı.Bu olaya **kuantum telepatisi** deniyor.Parçacıklarımızı kişileştirirsek,birinci parçacık ikincisine “ beni şimdi ölçtüler ve momentumumu şu şu buldular,aman senin de üzerinde bir ölçüm yaparlarsa sen de benimkine uyumlu bir sonuç ver,olmaz mı ?” diyor.



Bu telepatinin özelliği parçacıklar arasındaki uzaklıktan bağımsız olarak sonsuz hızla iletiliyor olması.Biz parçacıklarımız galaksimizin karşı uçlarına göndersek de dolanıklık olduğu sürece telepati sonsuz hızla gerçekleşiyor.

### Hile mi?

Yine de telepati açıklaması sonsuz hızla yayılan bir etki öngördüğü için rahatsız edicidir.Bu rahatsızlığımıza bir ad vermek gerekirse buna **yerellik ilkesi** diyoruz.Yerellik ilkesine göre her fiziksel olay önce olduğu yeri ve yakın çevresini etkiler.Bir yangının yavaş yavaş yayılması gibi bir olayın etkileri *zamanla* uzak yerlere taşınır.Nasıl bir yangın bir anda kilometrelerce uzakta bir yere sıçrayamıyorsa ,herhangi bir olay da anında uzak bir yerdeki başka bir olayı etkileyemez.

Einstein'e göre EPR deneyinde parçacıklar hile yapıyor olmalıydılar.Nasıl sihircilerimiz hangi topun hangi sırada çıkacağını önceden belirlemişlerse ,parçacıklarımız üzerinde yapılacak bir ölçümün sonucu da önceden bellidir.Birinci parçacık üzerinde yapılan

ölçümde Tanrı zar atmaz,bu olayda rastlantısal bir şey yoktur.İkinci parçacık için de aynı şey geçerli.Böylece parçacıklar rasgele belirlenen bir sonucu haberleşmek yerine ,daha önceden karar verilen bir sonucu deneyciye verirler.Deneycinin problemi ,ölçümü yapmadan önce hangi sonucun geleceğini bilmemesindedir.Kısaca belirsizliğin suçu deneycidedir.Böylece Einstein'ın karşı olduğu ,kuantum kuramındaki belirlenimciliğe aykırılık ortadan kalkar.

### **Gizli Değişkenler Kuramı**

Eğer hile açıklaması geçerliyse,parçacıkların bilinmeyen bir "özelligi" yapılacak her türlü gözlemlerde hangi sonucun çıkması gerektiğini söylüyor olmalı. Deneyci, bu özellikten habersiz olduğu için, deneyin sonuçları ona rastlantısal gelebilir. Öyleyse, bir şekilde bu yeni "özellik" ve kuantum kuramının kullandığı dalga fonksiyonu birleştirilmeli ve yeni bir kuram oluşturulmalıdır.Einstein bu nedenle kuantum kuramının "tam" olmadığını, bu yeni "özelligi" de içerecek şekilde genişletilmesi gerektiğini ve EPR deneyinin bunu göz önüne serdiğini söylüyordu.Bu tip yeni kuramlara "gizli değişken kuramları" deniyor. Tıpkı gizli hileler gibi, gizli değişkenler gösteriyi başarıyla götürüyor, varlıklarını da başarıyla gizleyerek bizleri şaşırtıyor olmalıydı.

Gizli değişkenler kuramı yeni bir düşünce değildi, fakat o zamana kadar kimse somut bir kuram ortaya atamamıştı. İkinci bir pürüz olarak, kuantum kuramı yapılan bütün deneysel testleri başarıyla geçiyor, öngörülleri bir bir doğrulanıyordu. Bu nedenle bir gizli değişkenler kuramı kurmak isteyen birisi, yeni kuramın kuantum kuramıyla aynı sonuçları vermesine özen göstermeliydi.



**John Bell**



**John von Neumann**

İlk zamanlar gizli değişkenler kuramını önündeki en önemli pürüz ;John von Neumann'ın "herhangi bir gizli değişkenler kuramı kuantum kuramıyla aynı deneysel sonuçlarını veremez" teoremini matematiksel olarak ispatlamasıydı.Daha sonra inatçı bir fizikçi olan David Bohm ,yazdığı bir makalede gizli değişkenler kuramının kuantum kuramıyla aynı sonucu verdiğini söyledi.Bohm'un böyle bir kuramı nasıl oluşturabileceğini inceleyen John Bell ,özellikle EPR deneyindeki iki parçacık üzerinde farklı özelliklerin ölçüldüğü durumları inceledi.Sonunda bu tip gözlemlerde yerel kuramların kuantum kuramından farklı deneysel sonuçlar öngördüğünü buldu.1964 yılında yapılan bu matematiksel buluş ,o zamana kadar çoğunlukla felsefi düzeyde kalan bir tartışmayı laboratuarlara taşıdı.

## Ve İşte Kuantum Kuramını Zaferi

Hangi kuramın doğru olduğu konusunda deneysel testler 1970'lerden itibaren yapılmaya başlandı. İlk deneysel test, elektron-pozitron yokolması sonucu açığa çıkan iki fotonun polarizasyonlarının (yani fotonları oluşturan elektrik alanlarının yönünün)dolanık olduğu bilgisinden hareketle Kasday tarafından yapıldı. Kısa bir süre sonra, daha düşük enerjili fotonlarla, optik düzeneklerin kesinliği kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilmeye başlandı. Örneğin S.J. Freedman ve J.F. Clauser tek değil de iki fotonun birden yayıldığı atomik ışımalarda yine fotonların kutuplaşmalarını inceleyerek Bell'in sonuçlarını test ettiler. Bugün bu testler, daha değişik koşullar altında daha kesin rakamsal sonuçlarla yapılmaya devam ediyor. Deneylerin gösterdiği sonuç kuantum kuramının zaferi anlamına geliyor.

Yani parçacıklar hile değil telepati yapıyorlar!

## Elektron Spinleriyle EPR Deneyi

EPR deneyi anlaşılması daha kolay olduğu için elektronların spinleriyle anlatılır. Elektronları küçük ama sonlu kürecikler olarak düşünürseniz bu kürelerin kendi çevrelerinde dönme hareketine spin deniyor. Aslında kuantum kuramı elektronlar gibi bazı parçacıkların spinlerinin bildiğimiz anlamda bir dönme hareketinden kaynaklanmadığını söylüyor. <sup>(2)</sup>Ama bu küçük detay dışında elektron spinlerini bu şekilde algılamakta büyük bir sakınca yok. Eğer bir cismin dönme yönü sağ elin başparmak dışındaki dört parmağın gösterdiği yönde ise spinin yönü başparmak yönünde olarak tanımlanır.

Elektron spinlerinin ölçümleri sonucunda, spinin kuantumlaştığı ve sadece iki değer alabildiği biliniyor. <sup>(3)</sup> Bir eksen doğrultusunda spin ölçülürse sonuç ya o eksen yönünde (yukarı spin) ya da tam ters yönde (aşağı spin) bulunuyor. Kuantum kuramına göre, bir elektron sadece yukarı spinde, ya da sadece aşağı spinde bulunmaz, bu iki spin değerinin üstüste geldiği durumlarda da bulunabilir. Tabi her ölçüm sonucunda spinin değeri uygun olasılıklarla ya yukarı ya da aşağı çıkar.

İki elektronun spinlerinin dolanık olduğu şöyle bir durum düşünelim: Hem iki elektronun spinleri zıt yönde olsun, hem de her iki elektron her iki spin değerini de alabilsin. Ya, birinci elektron yukarı spinde ve ikinci elektron aşağı spindedir; ya da birinci elektron aşağı spinde ve ikincisi yukarı spindedir. Bu iki durum özellikle eşit olasılıkla gelecek şekilde hazırlanır. Yukarıdaki ifadeye bakarak, "peki spinleri bu şekilde hazırlamak zor değil mi?" diye sorabilirsiniz. İşin doğrusu, bir çok atomda elektronlar kendiliğinden bu durumda bulunurlar. Örneğin helyum atomundaki spinler bu şekilde dolanıktır. Bu nedenle deneylerin spinleri yukarıdaki şekilde ayarlamaları zor değil.

---

(2) Kuantum dünyasının attığı ters köşe gollerden biri...

(3) Hidrojen gibi tek elektronlu atomlardan çok elektronlu atomlara ,sonra da moleküllere geçerken çok önemli başka bir kuantum kuralı işin içine giriyor. Bu da kuantum istatistiği ve Pauli dışlanma ilkesi. Buna örnekteki tüm temel parçacıklar iki sınıfa ayrılıyorlar: Bozonlar ve fermiyonlar. Bozonların spinleri  $h/2\pi$ 'nin 0,1,2... gibi tam sayı katları değerler taşıyor ve herhangi bir kuantum durumuna istenildiği kadar aynı cinsten bozon konulabiliyor. Elektronların üyesi olduğu fermiyonlar ise spini  $h/2\pi$ 'nin 1/2, 3/2, 5/2... gibi yarım tek tam sayı katları olan parçacıklardan oluşuyor ve bir kuantum durumuna sadece bir tane fermiyon konulabiliyor. Kısaca Pauli dışlanma ilkesine göre bir atomda aynı kuantum durumunda iki elektron bulunamaz. Bir orbital maksimum spinleri zıt yönlü olan 2 elektron barındırabilir.

| Fermiyonlar        |            |             |               |          |       |             |               |
|--------------------|------------|-------------|---------------|----------|-------|-------------|---------------|
| Leptonlar          |            |             |               | Kuarklar |       |             |               |
| Parçacık           | Simge      | Kütle (MeV) | Elektrik Yüğü | Parçacık | Simge | Kütle (MeV) | Elektrik Yüğü |
| Elektron nötrinosu | $\nu_e$    | >0.00001    | 0             | Yukarı   | u     | 310         | +2/3          |
| Elektron           | $e^-$      | 0.511       | -1            | Aşağı    | d     | 310         | -1/3          |
| Muon nötrinosu     | $\nu_\mu$  | Bilinmiyor  | 0             | Tılsımlı | c     | 1500        | +2/3          |
| Muon               | $\mu^-$    | 106.6       | -1            | Garip    | s     | 505         | -1/3          |
| Tau nötrinosu      | $\nu_\tau$ | Bilinmiyor  | 0             | Üst      | t     | 174000      | +2/3          |
| Tau                | $\tau^-$   | 1784        | -1            | Ait      | b     | 5000        | -1/3          |

| Bozonlar        |                      |          |             |      |               |
|-----------------|----------------------|----------|-------------|------|---------------|
| Kuvvet          | Erim                 | Taşıyıcı | Kütle (GeV) | Spin | Elektrik Yüğü |
| Kütleçekimi     | Sonsuz               | Graviton | 0           | 2    | 0             |
| Elektromanyetik | Sonsuz               | Foton    | 0           | 1    | 0             |
| Zayıf           | $10^{-16}$ cm'den az | $W^+$    | 81          | 1    | +1            |
|                 |                      | $W^-$    | 81          | 1    | -1            |
|                 |                      | $Z^0$    | 93          | 1    | 0             |
| Şiddetli        | $10^{-13}$ cm'den az | Gluonlar | 0           | 1    | 0             |

Dolanık spinlere sahip iki elektron birbirlerinden oldukça uzaklaştırılmıştır. Elektronlardan biri Dünya'da bulunan Ali'ye, öbürü en az 4 ışık yılı uzaklıkta bulunan uzaylı dostumuz Borg'a gönderilir

a) Her iki elektron %50-%50 olasılıkla yukarı ve aşağı durumlarda bulunur. Herhangi bir elektron üzerinde yapılacak ölçüm bu sonuçlardan herhangi birini eşit olasılıkla verecektir. Elektronlar hangi spinlere sahip olduklarını bilmediklerine göre, Ali de, Borg da spinlerin ne olduğunu bilmiyorlar.

b) Ali kendi elektronunun spinini ölçer<sup>(4)</sup>, elektronların durumu çökme yaşar ve Ali spinin yukarı yönde olduğunu görür. Borg'un elektronu artık aşağı spine sahiptir. Ali'nin ölçümünün sonucu sonsuz hızla Borg'un elektronuna iletilmiştir. Ama Borg hala kendi elektronunun hangi spine sahip olduğunu bilmemektedir.

c) Borg kendi elektronunun spinini ölçer ve aşağı olduğunu görür. Böylece Borg, Ali'nin yaptığı ölçümde yukarı sonucunu elde ettiğinden emin olur.

Daha önceden belirttiğimiz gibi ,kuantum kuramına göre Ali'nin elektronu bir çeşit kuantum telepatisiyle Borg'un elektronuna hangi spinde olması gerektiğini bildiriyor.

Güncel bir örnekle açıklayalım; içinde bir beyaz ve bir de siyah top bulunduğu bilinen bir kutu düşünün. Topları kutudan çıkarıp hiç bakmadan odanın iki ayrı köşesine fırlattığımızı varsayalım. Sonra toplardan birini incelediğimiz zaman beyaz olduğunu görürsek ,öteki topun siyah olduğu anlaşılır. Yani beyaz top diğer topa siyah olması gerektiğini bildiriyor.

(4) Spin ölçümleri Stern-Gerlach aygıtı ile yapılır.

### **3.BÖLÜM : 1993 YILI VE IŞINLANAN PARÇACIKLAR**

1993 yılında IBM'den Charles H.Bennett'in aralarında bulunduğu altı bilim adamı tarayıcının ölçüm almamasını sağlayarak bir sistemin kuantum durumunu uzak bir yere aktarmanın mümkün olduğunu gösterdiler.Üstelik ,klasik faks makinelerindeki gibi aktarmayı tamamlamak için sadece bir telefon yeterli.

#### **Bir Kubit Nasıl Işınlanır?**

İki düzeyli bir kuantum sisteminin bir kubitlik bilgi taşıdığını söylüyorduk.Böyle bir sistem genellikle 0 ve 1 olarak adlandırılan, iki olası durumdan birinde olabildiği gibi ,bunların değişik olasılıklarla üst üste geldiği sonsuz sayıda durumların birinde de olabilir.Bu sistem bir elektron spini olabilir,bir fotonun kutuplaşması ya da bir atomun enerji düzeyleri (uyarılmış ya da değil).Hangi sistemde gerçekleşiyor olursa olsun kuantum durumunu bir **kuantum bilgi** olarak tanımlıyoruz.

Kuantum ışınlanmanın temel ilkesi bir teori olmaktan öte matematiğin desteğiyle deneysel olarak incelenmiştir.Kullanılan ilk metot fotonların ışınlanmasıdır.Fotonlar da elektronlar gibi spinlere sahiptir.Bir kuantum sistemini ışınlamak için gerekli olan şey o sistemin kuantum durumudur.Yoksa herhangi bir madde aktarımı söz konusu değildir.Heisenberg belirsizlik ilkesinin böyle bir bilginin elde edilmesine müsaade etmeyeceği düşünülebilir.Bu yüzden teorisyenler dolanık parçacıkları kullanıyorlar.

Yapılan deneylerde Kamil'in Berna'ya iki düzeyli bir parçacık (1 numaralı parçacık) ışınlamak istediği düşünülmektedir.Bunu gerçekleştirmek için daha önceden bir dolanık parçacık çiftinin Kamil'e ve Berna'ya iletilmiş olması gerekiyor.(2.ve 3. parçacıklar)

Kamil 'in elinde kuantum durumunu bilmediği 1.parçacık ve Berna'ninkine dolanık olduğunu bildiği 2.parçacık var.Böyle bir sistem üzerinde yapılacak ölçüm en fazla 4 sonuç verecektir.Kamil özellikle elindeki iki parçacığı en yüksek düzeyde dolanıklaştıracak bir ölçüm alıyor.<sup>(5)</sup>

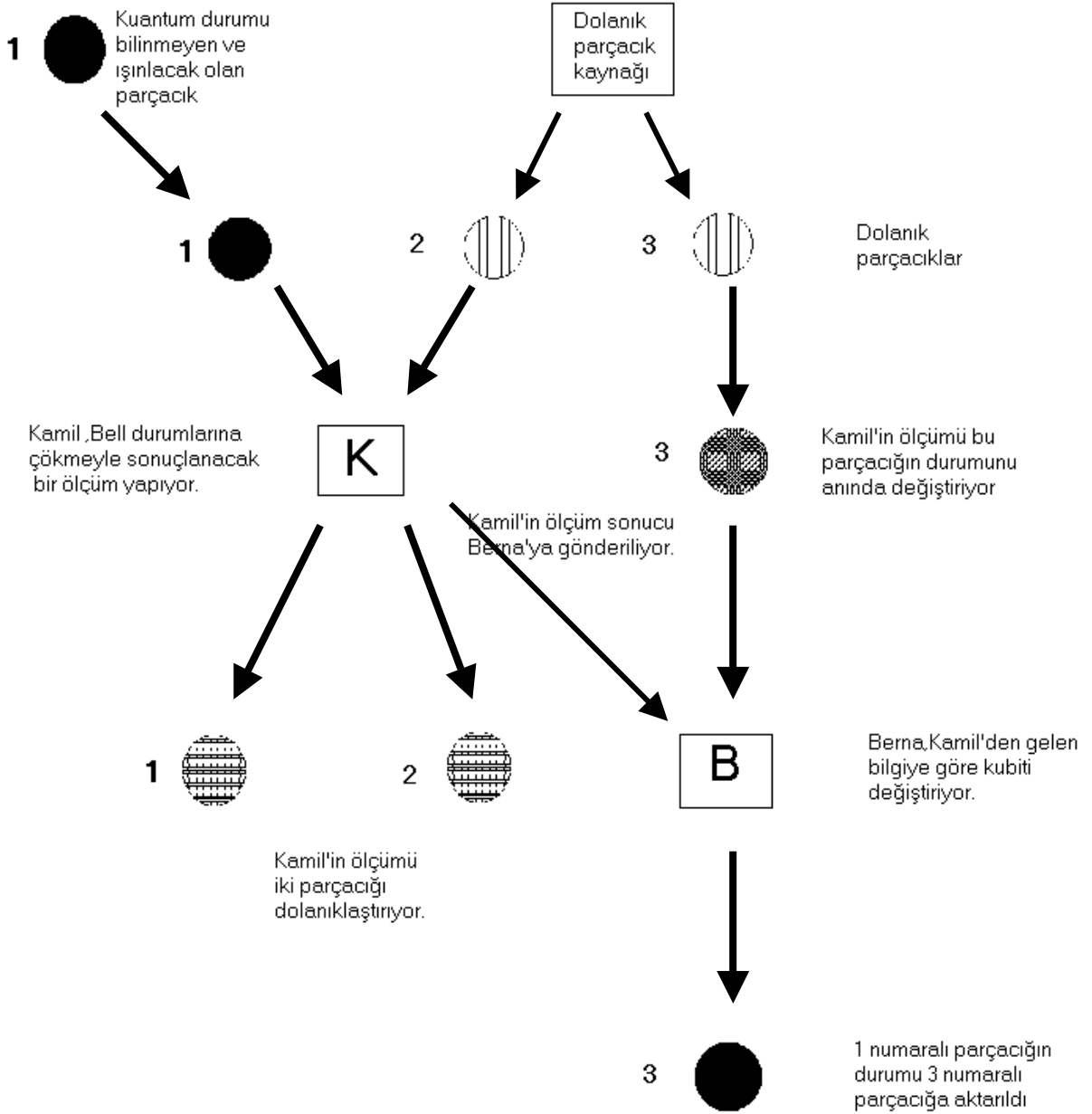
Bu aşamada Kamil'in elindeki kubitlerdeki orijinal bilgi siliniyor,1. ve 2. parçacıklar dolanıklaşıyor ve son olarak da 2. ve 3. parçacıklar arasındaki dolanıklık kayboluyor.Berna'nın elindeki parçacık ışınlanmak istenen parçacığın durumuna sahip ancak işlemin tamamlanması için Kamil'in elde ettiği ölçümün sonucuna ihtiyacı var.Kamil ölçümü sonucunda parçacıkların olası dört durumdan hangisine çöktüğünü Berna'ya bildirmek zorunda.Bunun için Berna'ya telefon ederek hangisi olduğunu söylemesi yeterli.Son olarak Berna,Kamil'den aldığı bilgiye dayanarak elindeki kubit üzerinde bir dönüşüm gerçekleştirir.Bu aşamada gerçekleştirilen dönüşüm ağırlıklı olarak kuantum hesaplamalarıyla ilgili.Sonuçta Berna'nın elindeki parçacık Kamil'deki 1.parçacığın durumuna geçecektir

---

5)Bu ölçümün bize vermektan öte sistemi değiştirme gibi bir işlevi var.Tabi yanında bilgi de alıyor ama bu ölçümden önceki sistem hakkında fazla bilgi vermiyor.Yani "ölçme" kelimesini klasik anlamın çok dışında kullanıyoruz.Bu ölçümün bir başka işlevi de iki parçacığı dolanıklaştırması.

00 + 00 DD  
00 - 00 DD  
00+01 yada 00+10 DD  
00-01 yada 00-10 DD  
00 + 11 DO.....1  
00 - 11 DO.....2  
01+ 00 DD  
01-00 DD  
01+ 01DD  
01+10 DO .....3  
01-01 DD  
01-10 DO.....4  
01+11 DD  
01-11 DD  
10+00 DD  
10-00 DD  
10+01 DO.....5  
10+10 DD  
10-01 DO.....6  
10-10 DD  
11+00 DO.....7  
11-00 DO.....8  
11+01 yada 11+10 DD

DD:dolanık değil  
DO:dolanık  
1. ve 7. durumlar; 2. ve 8. durumlar;  
3. ve 5. durumlar;4. ve 6. durumlar  
aynıdır.



Bir mesaj iletme zorunluğu, ışınlanmanın ışıktan hızlı bir şekilde gerçekleşmeyeceğini söylüyor. Örneğin, Berna'nın bizden 6 ışık yılı uzaktaki X gezegeninde olduğunu düşünün. Kamil, Bell durumlarına çökmeye sonuçlanan ölçümü aldığı anda Berna'nın kubitini değiştirir. Ama ışınlanmanın tamamlanması için Kamil'in gönderdiği iki bitlik mesajın Berna'ya ulaşması gerekir; bu da aradan en az 6 yıl geçmesi anlamına gelir.

Dolanık parçacık kullanma zorunluluğu Kamil'le Berna arasında bu parçacıkların paylaşılması sırasında bir kuantum iletişim kanalının olmasını gerektiriyor. Eğer böyle bir kanal kullanabiliyorsa o halde ışınlamaya ne gerek var diye sorabilirsiniz. Kamil, elindeki parçacığı doğrudan gönderebilir ya da parçacığın kubitini bir fotona aktarır ve fotonu

yollayabilir.Bu doğru bir yöntem gibi gözükse de zorluğu belli! Örneğin, Berna'nın 6 ışık yılı uzaklıktaki X gezegeninde bulunduğunu düşünün.Kamil'in bu gezegeni hedefleyerek bir foton göndermesi ve Berna'nın doğru zamanda doğru yerde bulunarak bu fotonu yakalaması imkansız.Üstelik,fotonumuzun yolda giderken bir toz parçacığına çarparak sapma olasılığı da var.Buna karşın,normal radyo dalgalarıyla yapılacak klasik bir iletişim her zaman Berna'ya ulaşabilir.Ulaşmamış olsa bile aynı mesaj tekrar yollanabilir.Doğal olarak bu yöntemin kullanılması için Kamil'le Berna'nın geçmişte bir gün “ne olur ne olmaz,her ihtimale karşı biz saklayalım” diyerek çok sayıda dolanık parçacık çifti paylaşmış olması ve bunları saklamış olmaları gerekmektedir.Bu da ışınlamamız ile filmlerdeki ışınlamanın arasındaki büyük bir farkı ortaya koyuyor;bildiğiniz gibi filmlerde mürettebatımız daha önce hiç gitmediklere yerlere ışınlanıyor.

### **KAMERA ARKASI**

Yüzyllar geçti ve ışınlanma makinemiz icat edildi!

Artık yolculuklarımızı bir uzay gemisiyle yapmak yerine ,bedenimizdeki her atom ve her elektronun yeri ve koşulları kesin ve doğru (Ne kadar doğru?! ) bir şekilde ayrıntılandırılarak saptanmak üzere baştan ayağa taranıyor.Tüm veriler elektromanyetik bir sinyalle varılacak uzak gezegenlere ışınlanıyor.

Peki tarama sırasında tüm duygularımız,anılarımız ve düşüncelerimiz de taranıp gönderilebilir mi?Beyin etkinliklerimizin her ayrıntısı özenle saptanıp iletdikten sonra yeniden inşa edilebilir mi?

Mekanizmanın tasarımılandığı şekilde işlediğini varsayarsak yolcunun özgün nüshasına ne olacak?İmha mı edilmesi gerekecek?Bilinç ,iki ayrı yerde aynı zamanda olabilir mi?

Yöntemin ,kendi referansına dayanılarak ,tamamiyle güvenli olduğu bu yolculuk yöntemini denemek ister misiniz?

Kısaca, maddeyle beraber ruhu da tarayıp ışınlayabilir miyiz?

## KAYNAKLAR

- E. Knill, R. Laflamme, H. Barnum, D. Dalvit, J. Dziarmaga, J. Gubernatis, L. Gurvits, G. Ortiz, L. Viola and W. H. Zurek / *Introduction to Quantum Information Processing* / 29 July 2002
- Cezary 'Sliwa / *Symmetries of the Bell correlation inequalities* / May 30, 2003
- Bell, J.S. / *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics* / Cambridge University Press, 1987
- Penrose,R / *Bilgisayar ve Zeka* / Tübitak /2000
- Penrose,R / *Fiziğin Gizemi* / Tübitak / 2001
- Hooft ,G. / *Maddenin Son Yapıtaşları* / Tübitak / 2002
- Turgut, S / *Parçacıklar telepati yapar mı?* / Bilim ve Teknik/ Ekim 2000
- Turgut, S / *Şu garip kuantum* / Bilim ve Teknik/ Haziran 2003
- <http://www.marksist.com/kitaplik/onlineKitap/AI/>
- <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/2049048.stm>
- <http://www.newscientist.com/hottopics/quantum/fromheretothere.jsp>